

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Popis technologií mikrovlnných spojů.
Microwave Link Technology Description.

Zadání bakalářské práce

Student:

Petr Dědic

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601R013 Telekomunikační technika

Téma:

Popis technologií mikrovlnných spojů.
Microwave Link Technology Description.

Zásady pro vypracování:

Mikrovlnné spoje tvoří hlavní zařízení páteřních bezdrátových spojů. Student má za úkol popsat návrh a instalaci v současné době používaných technologií páteřních bezdrátových spojů.

Vypracovaná práce bude splňovat následující body zadání:

1. Popis kmitočtových pásem a technologií mikrovlnných spojů.
2. Popis způsobu návrhu a samotné instalace mikrovlnného spoje.
3. Popis způsobů měření signálové úrovně a chybovosti spoje.
4. Ukázka měření vybraného spoje.

Seznam doporučené odborné literatury:


Kalivas, G.: *Digital Radio System Design* Wiley, 2010

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Dvorský, Ph.D.**


Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 5.května 2014

Petr Dvořák
.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Marek Dvorský, Ph.D za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce. Především bych chtěl poděkovat za motivaci a zájem o celé téma.

Abstrakt

Rádiová komunikace, je jedním z nejvíce používaných přenosových médií, které v dnešní době používáme k sdílení informací. Tato práce je soustředěná na vyšší kmitočty, ve kterých stavíme pevné páteří spoje. Za úkol si práce klade seznámit čtenáře s využívanými komponenty, objasnit chování přenosového média a vysvětlit problémy které je zapotřebí vzít v potaz, před samotným návrhem rádiového spoje. V práci je zahrnuta osobní praxe a zkušenost s instalací spoje, společně s využitím programu CACTI k monitorování spoje.

Klíčová slova

Antény, CACTI, kmitočtové pásmo, křížová polarizace, mikrovlnný spoj, modulace, vícecestné šíření, Raspberry Pi,

,

Abstract

Radio communication is one of the most used transmission media, which today is used for sharing information. This work is focused on higher frequencies, in which we build a fixed backbone connections. The task of the work is to familiarize the reader with the components used by, clarify the behavior of the transmission media and explain issues that should be taken into account before the proposal radio link. The work included personal practice and experience with the installation of connections, together with the use of the CACTI to monitor connections.

Key words

Antenna, CACTI, frequency bands, cross-polarization, microwave link, modulation, multipath fading, Raspberry Pi,

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Význam symbolu
γ_W	dB/km	Útlum vodních par
γ_o	dB/km	Specifický útlum pro kyslík
A	dB	Zisk
a_0	-	Polarizace
B	A/m	Magnetická indukce elektrického pole
c	m/s ⁻¹	Rychlost světla
D	m	Průměr
D	km	Vzdálenost
E	V/m	Intenzita elektrického pole
f	Hz	Frekvence
F	MHz	Pracovní kmitočet
FLPS	dB	Ztráty volným prostorem
F_n	m	Poloměr n-té Fresnelovy zóny
G	dB	Zisk
h_L	M	Výška nižší antény nad terénem
I	A	Proud
K	Z	Geoklimatický faktor
k_c	-	Konstanta příčného řezu
L	dB	Ztráty
M	Z	Počet stavu
N_B	Z	Počet celkově přenesených bitů
n_c	Z	Počet chybně přenesených bitů
p	hPa	Tlak
P_0	W	Výkon normálně polarizované vlny
P_R	W	Výkon vysílače
P_T	W	Výkon přijímače

Symbol	Jednotka	Význam symbolu
P_x	W	Výkon ortogonálně polarizované vlny
R	Z	Srážková úroveň
SRN	dB	Odstup signál/šum
T	s^{-1}	Perioda
t	s^{-1}	Čas
t	°C	Teplota
U	V	Napětí
U	W	Intenzita vyzářeného výkonu
v	m/s^{-1}	Rychlost
x	-	Prostorová souřadnice
γ_R	dB/km	Útlum deštěm
ϵ	Fm^{-1}	Permitivita
η	%	Účinnost
μ	Hm^{-1}	Preambule
ω	s^{-1}	Úhlová frekvence
λ	m	Vlnová délka

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
ACAP	Adjacent Channel Alternate Polarization
ACCP	Adjacent Channel Co-Polarization
ACM	Adaptive Coding and Modulation
BER	Bit Error Rate
BERT	Bit Error Rate Tested
CAT	Category (cable)
CCDP	Co-Channel Dual-Polarization
DVI	Digital Visual Interface
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power
FEC	Forward Error Correction
GNU	GNU is Not Unix
HDMI	High Definition Multimedia Interface
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R	International Telecommunication Union - Radiocommunication
OSN	Organizace Spojených Národů
WRC	World Radiocommunication Conference
ČTU	Český telekomunikační úřad
CCITT	Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique
TS	Time slot
ODU	Out-Door Unit
IDU	In-Door Unit
FE	Fast Ethernet
GE	Gigabit Ethernet
STP	Shielded Twisted Pair
SFP	Small form-factor Pluggable
XPD	Cross-Polar Discrimination

XPI	Cross-Polar Isolation
XPIC	Cross-Polarization Interference Canceller
SNR	Signal to Noise Ratio
AM	Analog Modulation
PM	Phase Modulation
FM	Frequency Modulation
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
CP	Cyclic Prefix
ICI	Inter Carrier Interference
PSK	Phase Shift Keying
ASK	Amplitude Shift Keying
FSPL	Free Space Path Loss
OOP	Ochranné Osobní Prostředky
PER	Packet Error Ratio
Rx	Receive
SDHC	Secure Digital High Capacity
SFTP	Shielded Foiled Twisted Pair
SNMP	Simple Network Management Protocol
SNR	Signal to Noise Ratio
Tx	Transmit
VGA	Video Graphics Array

Obsah

Úvod.....	- 12 -
1 Popis kmitočtových pásem a technologií mikrovlnných spojů	- 13 -
1.1 Organizace	- 13 -
1.2 Elektromagnetické spektrum.....	- 14 -
1.3 Standart E1	- 17 -
1.4 Popis vybraných kmitočtových pásem.....	- 17 -
1.5 Antény.....	- 18 -
1.5.1 Paraboloid	- 19 -
1.5.2 Zářič	- 19 -
1.5.3 Odstínění	- 20 -
1.5.4 Mechanismus uchycení	- 21 -
1.6 Rádiové jednotky	- 22 -
1.6.1 ODU	- 22 -
1.6.2 IDU	- 23 -
1.6.3 Kompletní řešení.....	- 23 -
1.7 Polarizace a potlačení křížové polarizace	- 23 -
1.8 Vlnovod	- 25 -
1.9 Retranslace pasivní	- 26 -
1.10 Retranslace aktivní.....	- 28 -
1.11 Modulace	- 28 -
1.11.1 OFDM.....	- 29 -
1.11.2 QAM.....	- 29 -
2 Popis způsobu návrhu a samotné instalace mikrovlnných spojů.....	- 31 -
2.1 Statické výpočty - teorie	- 31 -
2.1.1 Útlum při šíření volným prostorem.....	- 31 -
2.1.2 Vícecestné šíření	- 32 -
2.1.3 Útlum deštěm.....	- 33 -
2.1.4 Rezerva na únik	- 34 -
2.1.5 Výpočet první Fresnelovy zóny	- 34 -

2.1.6	Útlum v důsledku atmosférických plynů	- 35 -
2.2	FEC	- 36 -
2.3	SNR.....	- 36 -
2.4	Prahová citlivost.....	- 37 -
2.5	BER.....	- 37 -
2.6	Volba spoje	- 38 -
2.7	Bezpečnost	- 42 -
2.8	Instalace spoje.....	- 43 -
3	Popis způsobu měření signálové úrovně a chybovosti spoje.....	- 47 -
3.1	CACTI a Raspberry Pi	- 47 -
3.2	Potřebné komponenty	- 48 -
3.3	Instalace Raspberry Pi.....	- 48 -
3.4	Instalace CACTI	- 49 -
3.5	Práce v CACTI.....	- 50 -
4	Ukázka měření vybraného spoje	- 51 -
4.1	Nastavení rádiové jednotky.....	- 52 -
	Závěr	- 57 -
	Použitá literatura	- 59 -
	Seznam příloh.....	- 62 -

Úvod

Cílem bakalářské práce je seznámit čtenáře s mikrovlnou technologií, která v dnešní době stále patří mezi nejvíce používané přenosové médium. První kapitola je věnována obecnému seznámení s technologií a komponenty. Druhá kapitola je zaměřená na objasnění problémů, které vznikají v přenosové soustavě, co vše je třeba posuzovat a vzít v potaz, před samotným návrhem. Hlavní částí je pak samotný postup získaný z osobní praxe. V této části je zohledněn postup, jak pomocí Raspberry Pi a programu CACTI, si lze velmi ekonomicky postavit vlastní monitorovací stanici. Poslední kapitola je věnována rozboru naměřených výsledků.

Práce je vyhotovená ve větší míře z osobních vědomostí, zkušeností a práce s touto technologií, díky působení ve firmě místního internetového poskytovatele. Současně jsou zde aplikovány o postupy a zkušenosti, z možnosti spolupráce s velkým mobilním operátorem, působícím na našem trhu.

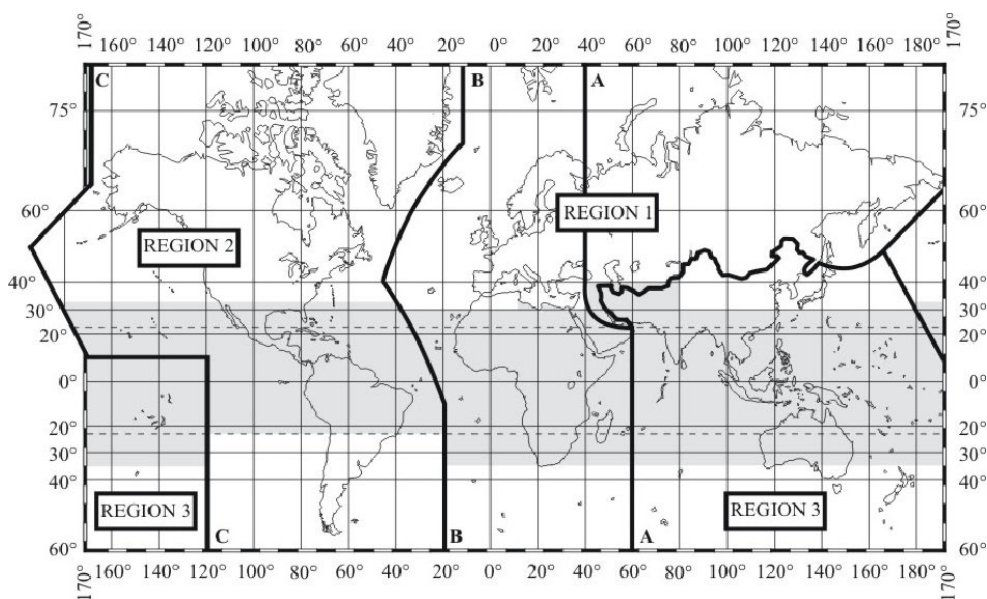
1 Popis kmitočtových pásem a technologií mikrovlnných spojů

Rádiové spektrum je vzácný statek, součást národního bohatství. Není to ropa a ani zlato, nelze si na elektromagnetické vlny šáhnout, přesto jsou všude kolem nás a je potřeba jich využívat velmi hospodárně!

Úvodní odstavec této kapitoly nemá konkrétního autora a není ani známo, kdy tyto slova byly proneseny. Přesto v její samotné pointě se vedou následující pravidla a doporučení, které jsou známé snad ve všech státech naší planety.

1.1 Organizace

Za nadnárodní institucí je považován spolek International Telecommunication Union (dále jen ITU), který sdružuje celkem 193 členských zemí a spadá pod OSN. Část tohoto spolku, která se zabývá rádiovou soustavou, se označuje jako ITU-R. Hlavní rozhodovací a plánovací události jsou probírány na „World Radiocommunication Conference“ (dále jen WRC) z podnětů členských zemí k vytvoření potřebných směrnic. Ty jsou vypracovávány rozdílně pro tři regiony, do kterých byl svět rozdělen v roce 1987 (odděleny jsou čarami A, B a C). Každý region má své specifické předpisy, po případě příslušná země má ještě dodatečné úpravy, které musí být schváleny na WRC. Příští zasedání proběhne v Geneva, Switzerland 2.-27. November 2015 (WRC-15). Veškeré nařízení a předpisy z ITU-R jsou v ČR konečná a platná.



Obrázek 1.1: ITU regionální mapa [1]

Nejvyšší institucí, která řídí radiokomunikační soustavu v ČR je Český telekomunikační úřad (dále jen ČTU). Stará se o vydávání platných předpisů pro rádiovou soustavu, stanovuje kmitočtová pásma pro jednotlivé služby a rádiové zařízení, definuje obecné podmínky pro využívání kmitočtů na základě požadavků a územního plánování, přiděluje jednotlivé kanály k provozu rádiových stanic. ČTU přejímá veškeré podmínky v radiokomunikačním řádu přijatém ITU-R a aplikuje je na území ČR.

Souhrnná rozdělení a přidělení kmitočtových pásem je definováno v tzv. "národní kmitočtové tabulce." Její vydání se řídí vyhláškou 105/2010 Sb., podle § 150 odst. 2 zákona č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o elektronických komunikacích), ve znění zákona č. 110/2007 Sb., o některých opatřeních v soustavě ústředních orgánů státní správy, souvisejících se zrušením Ministerstva informatiky a o změně některých zákonů, k provedení § 16 odst. 1 zákona o elektronických komunikacích.

1.2 Elektromagnetické spektrum

Je složeno z vektoru E a B , kdy vektor E vyjadřuje intenzitu elektrického pole [V/m] a vektor B vyjadřuje magnetickou indukci [A/m]. Oba vektory jsou na sebe kolmé, mají souhlasnou fázi a jejich kmity probíhají kolmo ve směru, kterým se vlnění šíří. Elektromagnetické vlnění je vlnění příčné a k jeho vlastnostem lze připisovat odraz, lom, polarizaci, difrakci, interferenci a fotoelektrický jev.

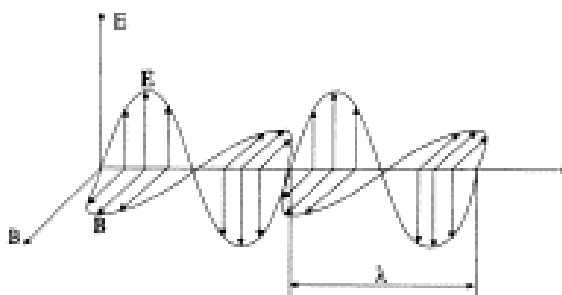
$$\lambda = \frac{c}{f} [m] \quad (1.1)$$

kde:

λ = vlnová délka [m]

C = rychlost světla [m/s⁻¹]

f = frekvence [Hz]



Obrázek 1.2: Složení elektromagnetické vlny [2]

Pro oba vektory platí, že nabývají svých maximálních hodnot ve stejný okamžik.

Výslednicí těchto vektorů v ose x lze následně popsat jako:

$$E = E_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) = E_m \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (1.2)$$

$$B = B_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) = B_m \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (1.3)$$

kde:

E = intenzita elektrického pole [V/m]

B = magnetická indukce [T]

ω = úhlová frekvence [s^{-1}]

T = perioda [s^{-1}]

t = čas [s^{-1}]

x = prostorová souřadnice

v = rychlost šíření [m/s^{-1}]

λ = vlnová délka [m]

Rychlost šíření elektromagnetického vlnění je závislá na prostředí, ve kterém se vlna šíří.

Ve vakuu je tedy rychlost vypočtená ze vzorce:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (1.4)$$

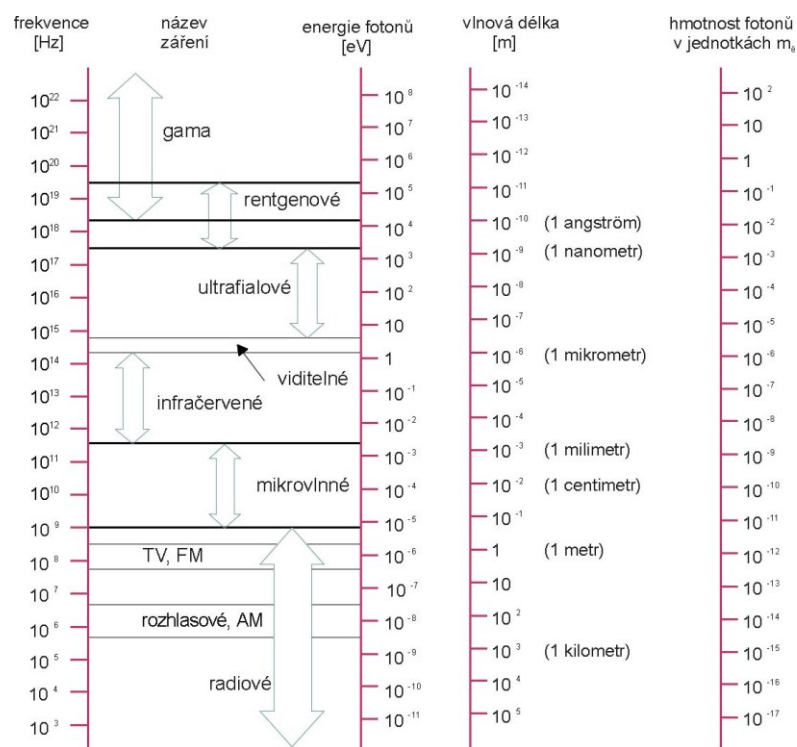
kde:

ϵ_0 = permitivita ($8.854187818 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$)

μ_0 = permeabilita ($1.256637061 \cdot 10^{-6} \text{ Hm}^{-1}$)

Zdrojem elektromagnetického vlnění může být jakýkoliv vodič, kterým prochází elektrický proud. Pro radiokomunikaci je to nejčastěji dipól, jehož délka je rovna polovině vlnové délky vyzařovaného elektromagnetického vlnění.

Frekvence je definována jako počet opakování periodického děje za daný časový úsek. Jednotkou se stal Hz, po svém německém objeviteli Heinrichu Hertzovi. Dnes nejčastěji používáme kHz, MHz a GHz.



Obrázek 1.3: Rozdělení elektromagnetického spektra [3]

Tabulka 1.1: Rozdělení rádiových vln [1]

Kmitočet frekvence	Délka vlny	symbol	Český název	Metrické označení
300 – 3000Hz	1000 - 100 km	ULF	Extrémně dlouhé	Hektokilometrové
3 - 30kHz	100 - 10 km	VLF	Velmi dlouhé	Myriametrové
30 - 300kHz	10 - 1 km	LF	Dlouhé	Kilometrové
300 - 3000kHz	1000 - 100 m	MF	Střední	Hektometrové
3 - 30MHz	100 - 10 m	HF	Krátké	Dekamentové
30 - 300MHz	10 - 1 m	VHF	Velmi krátké	Metrové
300- 3000MHz	100 - 10 cm	UHF	Ultra krátké	Decimetrové
3 - 30GHz	10 - 1 cm	SHF	Centimetrové	Centimetrové
30 - 300GHz	10 - 1 mm	EHF	milimetrové	Milimetrové
300 - 3000GHz	1 - 0,1 mm			

1.3 Standart E1

Tento standart vychází z doporučení CCITT pod označením G.703 a pozdějších úprav. Původ vzniku dal převod analogového signálu do digitálního. To lze provést aproximováním okamžité hodnoty analogového signálu na jednu z 256 úrovní. Tato úroveň se dá vyjádřit 8 bitovým slovem. Slovo je následně vyjádřeno v "time slotu" (dále jen TS) s vzorkovací frekvencí 8000 krát za sekundu (vychází z šířky pásma potřebného pro telefonní linku).

Počet TS v standartu E1 je 32, z toho TS0 je považován za synchronizační a TS16 za signalizační. Zbylých 30 TS přenáší potřebná data. Celková kapacita je tedy rovna při tomto standartu $8 \text{ bit} \cdot 8000 \text{ Hz} \cdot 32 \text{ TS} = 2,048 \text{ Mbps}$.

Tabulka 1.2: Přenosový standard G 703[2]

Standard	TS	Přenosová rychlost
E0	1	64 kbps
E1	30+2	2,048 Mbps
E2	120+12	8,448 Mbps
E3	480+57	34,368 Mbps
E4	1920+256	139,264 Mbps

Obdobným standardem je T, používaný zejména v USA. Ten používá pouze 7bitů a jednoho signalizačního TS.

1.4 Popis vybraných kmitočtových pásem

Spektrum kmitočtového pásma by se dalo rozdělit podle vícero kritérií. Předmětem zkoumání budou pásma, které jsou vhodné a nejčastěji používané pro provoz digitálního mikrovlnného spoje s požadavkem na vysoký přenos dat.

Takové to spoje pracují v Giga Hertzích [GHz] a jsou zde kladeny nároky především na přímou viditelnost. Jakékoliv zastínění v přenosové trase, ať už větvemi, budovami nebo jinými předměty, vedou k snižování přenosové propustnosti spoje. Příčinou je velmi malá vlnová délka, která připomíná některé vlastnosti světelných paprsků, především přímočaré šíření.

Provozovatele mikrovlnného spoje především zajímá, zda je pásmo volné nebo regulované.

Volné pásma nejsou nijak zpoplatňovány a jejich provoz je povolen na základě "Všeobecného oprávnění", které vydává ČTU pro naše území. Nepodléhají žádnému plánování

a přístupové body nejsou nijak evidovány (neplatí pro právnické osoby). ČTU nezajišťuje žádnou ochranu před zarušením, pouze v případě kdy vznikne spor, musí rušení odstranit ten, kdo vybudoval spoj později. Provoz v těchto pásmech lze provádět, pokud provozovatel splní předepsané podmínky ČTU.

Regulované pásma naopak využívají územního plánování pod záštitou ČTU, kdy žadatel musí podat písemnou žádost na přidělení nevyužitého volného kanálu v dané lokalitě, získat povolení k provozu daného spoje a hradit roční poplatky. Tím je ochráněn před rušením jiným provozovatelem. Výše ročního poplatku se následně odvíjí individuálně podle šířky zabraného pásma, indexu použitého pásma a dalších faktorů, které jsou uvedeny na stránkách ČTU.

1.5 Antény

Jedna z nejdůležitějších komponentů mikrovlnného spoje je samotná anténa. Ta se skládá ze tří klíčových prvků, kterým je potřeba věnovat zvlášť pozornost. Nutno podotknout, že ve spojích PtP jsou používány převážně antény parabolické s ochranou aktivní zóny. Za aktivní zónu je považován vnitřní zářič a paraboloid, který zachytává nebo vysílá elektromagnetické vlny. Průměr antény vždy nemusí souviset s celkovým ziskem, podstatné je mít anténu správně přizpůsobenou k dané vlnové délce a mít vhodný směrový diagram. Směrový diagram charakterizuje, jak se anténa bude chovat v daném prostředí. Hlavním úkolem je vyzářit energii před sebe, s eliminováním postranních laloků.

Energie, kterou směrová anténa vyzáří se lze popsat vzorcem:

$$E = C e^{j\Psi} a_0 F(\vartheta\varphi) \frac{e^{-jkd}}{d} \quad (1.5)$$

kde:

$C e^{j\Psi}$ = komplexní konstanta buzení antény

a_0 = polarizace

$F(\vartheta\varphi)$ = vyzařovací charakteristika

$\frac{e^{-jkd}}{d}$ = změna amplitudy

Zisk parabolické antény lze vypočítat z následujícího vzorce:

$$G = 17,8 + 20\log(FD) = \eta D = \frac{4\pi U}{P_v} \quad (1.6)$$

kde:

G = zisk antény [dB]

D = průměr parabolické antény [m]

F = pracovní kmitočet [MHz]

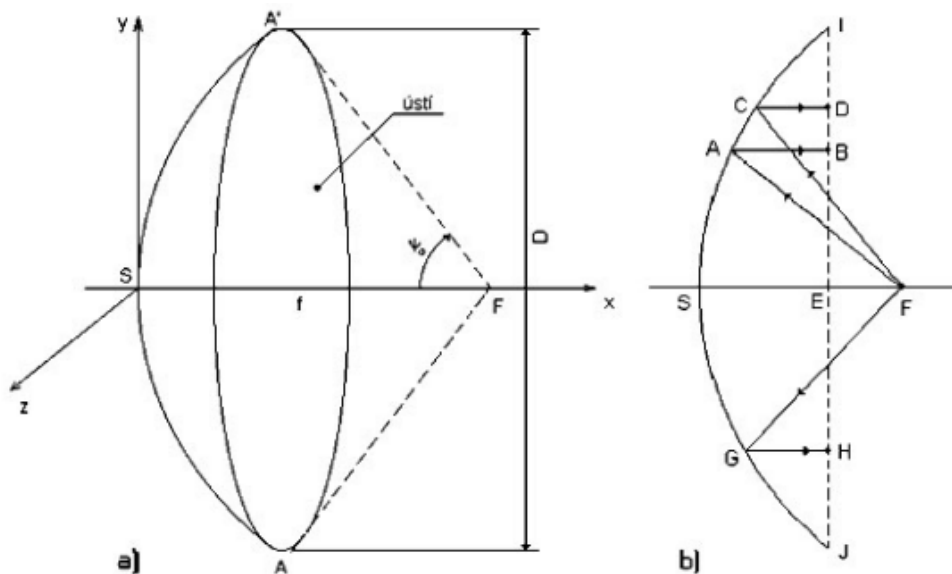
η = účinnost antény [%]

P_v = vstupní výkon do antény [W]

U = intenzita vyzařování zářiče [W]

1.5.1 Paraboloid

Jedná se o reflektor, který zachytává nebo vysílá elektromagnetické pole. Jeho konstrukce je navržena tak, aby elektromagnetické pole zachytával a soustředil je před sebe do jednoho ohniska. Každý paraboloid je definován ohniskovou vzdáleností a velikostí ústí.



Obrázek 1.4: Paraboloid směrové antény [4]

Správně navržený směrový paraboloid má paprsek definován body FAB rovný vzdálenostně paprsku FCD.

1.5.2 Zářič

Aktivní část antény, která je schopná vysílat nebo přijímat elektromagnetické pole. Základním požadavkem je, aby byl umístěn v ohnisku paraboloidy, kterou ozařuje a ta následně vysílá a přijímá signál. Důležité je, aby samotný zářič nebyl příliš velký. Mohlo by dojít k rozdělení hlavního laloku, což by se na vyzařovacím diagramu projevilo jako dva hlavní laloky se středovým zastíněním. Aktivní zářič má převážně kruhové nebo obdélníkové vedení až k ozařovači. Změny polarizace je dosaženo převážně pootočením štěrbiný zářiče i rádia o 90 stupňů.



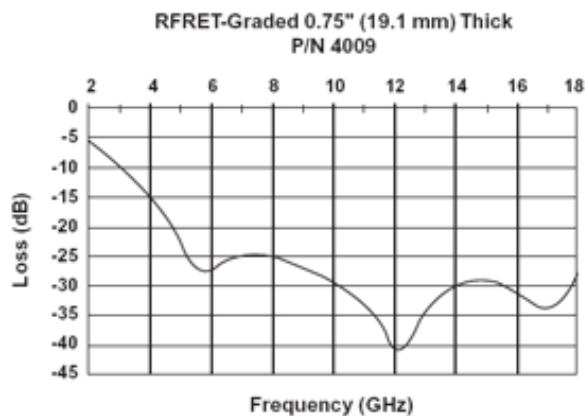
Obrázek 1.5: Anténní zářič [5]

1.5.3 Odstínění

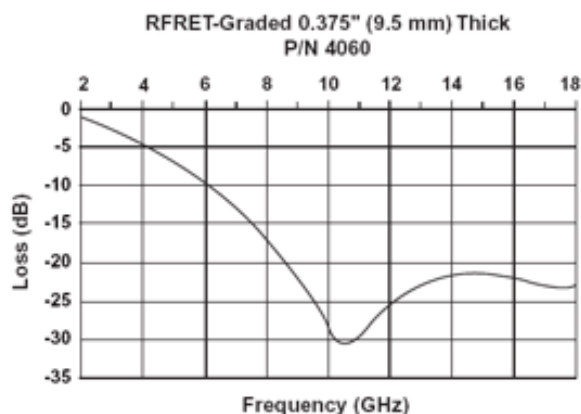
Kmitočtové spektrum ve většině lokalit je poměrně značně vytíženo. Rádiový spoj tak kromě signálu z protistrany zachytává i různé další signály, třeba z odrazu nebo z antény instalované vedle. Dochází zde k rušení sebe navzájem. Vlastností kovových částí je schopnost signál odrážet. Jistým způsobem se tak kov stává vodičem ale i izolátorem. Toho lze využít, třeba při snaze odstínit anténu před bočním signálem z jiného směru. U většiny antén se zohledňuje potřeba udržet středový vodič a odraznou plochu paraboloidu čistou, bez nánosů nečistot nebo trusu ptáků. Používá se tedy plastový, u velkých antén spíše kovový límec. Z přední části antény je instalováno plastové nebo plátěné víko.

Převážně kovový límec (ale i plastový) využívá k spojení jednotlivých částí nýty nebo šrouby. Ty stejně, jako celý obal límce, můžou odrážet signál a může dojít k rozbití vyzařovacího diagramu.

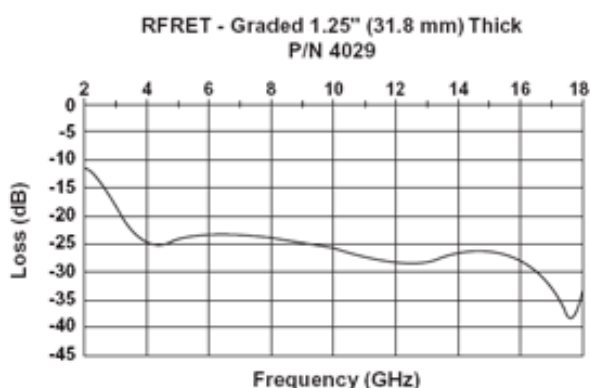
Límec je proto obložen pěnovou polyuretanovou hmotou, s přídavkem uhlíku a dielektrické směsí. Velikostí buněk pěnovky společně s tloušťkou pěnovky, lze vytvořit poměrně kvalitní izolační stěnu. Izolační rozsah, je od 30MHz až 100GHz převážně.



Obrázek 1.6: Absorbér RFRET 19.1mm [6]



Obrázek 1.7: *Absorbér RFRET 9.5mm [7]*



Obrázek1.8: *Absorbér RFRET 31.8mm [8]*

1.5.4 Mechanismus uchycení

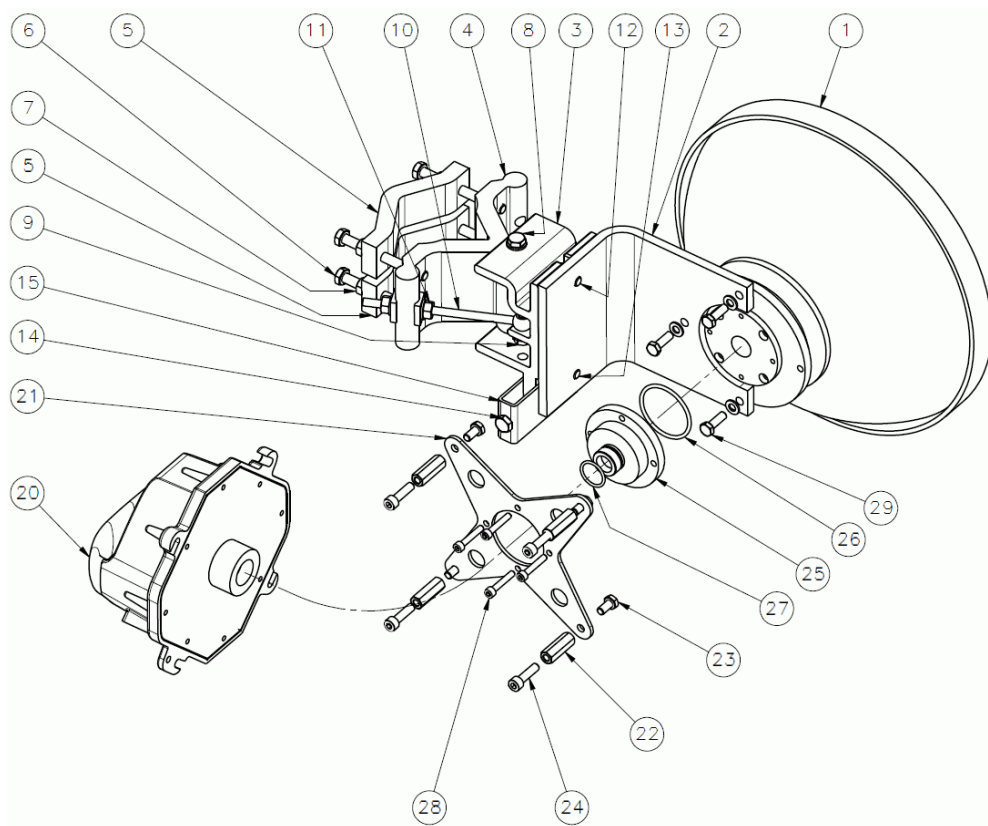
Tento konstrukční prvek má své opodstatnění především s rostoucí vlnovou délkou. V pásmech do 6GHz najdeme uchycení prakticky natvrdo přes objímku. To je dovoleno díky poměrně velké délce vlny, která nevyžaduje úplně přesné zaměření na protistranu. V neodborné terminologii se tak často uvádí pojem "nastavení od oka". Vyšší kmitočty mají již složitější funkční mechanismus.

Zpravidla mechanismus plní tři úkoly:

- pevně kotví anténu k anténnímu stožáru
- umožňuje snadné vycentrování antény do potřebného směru
- chrání paraboloid před deformacemi

Jak již bylo naznačeno, směrový diagram a charakteristika antény je přímo závislá na správné geometrii antény. Ta při samotné montáži může být značně poškozená techniky, kteří ladí spoj. Výrobci se snaží co nejvíce optimalizovat tento mechanismus, aby nedošlo ke korozi nebo nežádoucímu zaseknutí, vznikajícím třeba na nerezových centrovacích šroubech. Chod

natáčecího ústrojí musí být velmi jemný, především pokud anténu směřujeme na velkou vzdálenost.



Obrázek 1.9: Ukázka komponentu firmy RAY [9]

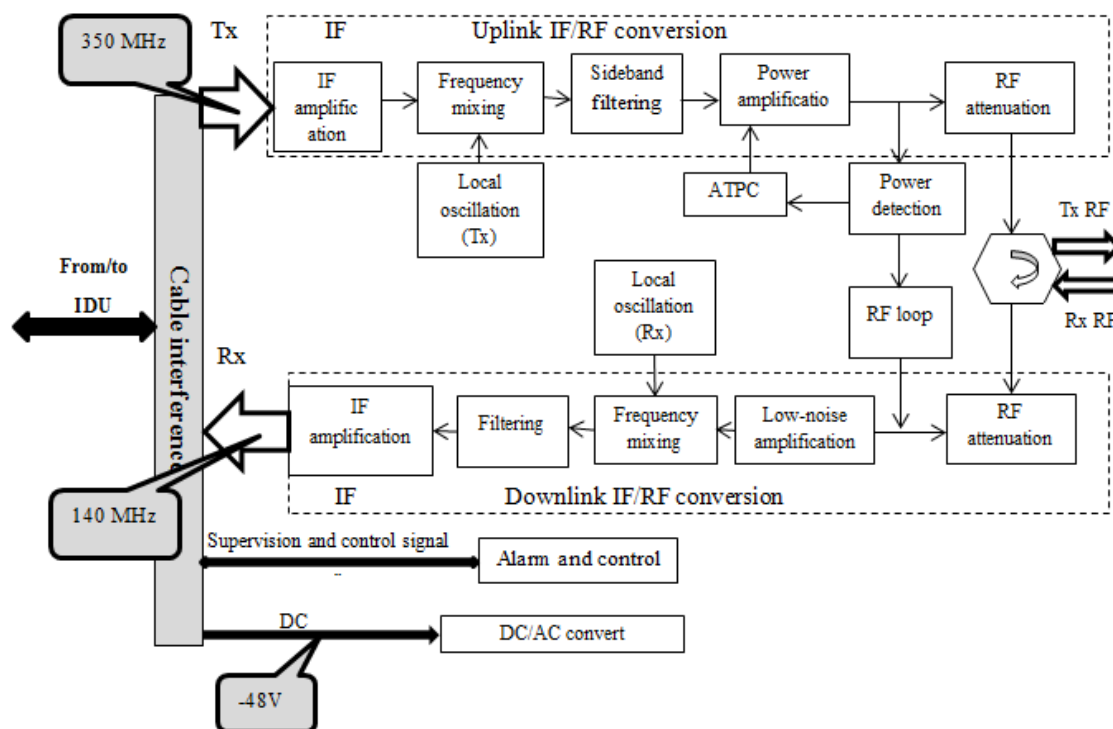
1.6 Rádiové jednotky

Rádiové jednotky lze rozdělit na ODU, IDU a kompletním řešení (vše s ODU).

1.6.1 ODU

Jednotka se často zaměřuje s kompletním řešením. Pozice ODU je hned za anténou napojená na štěrbinový vlnovod primárního zářiče. Úkolem je přeměna mezifrekvenčního kmitočtu na kmitočet rádiový, jeho zesílení a úpravu na potřebnou hladinu. Hlavním parametrem je kmitočet, na kterém má spoj pracovat. Dále musí umět ODU pokrýt potřebné frekvence v pásmu pro příjem a pro vysílání, mít schopnost lineárně zesílit na radiovou frekvenci, po případě pomoci radiofrekvenčních filtrů odstranit rušící kmitočty.

Princip většiny ODU spočívá v příjmu mezifrekvenčního kmitočtu z IDU na vstupu, zesílení a převedení do směšovače, kde je signál konvertován na požadovaný výstupní kmitočet. K potlačení rušení je signál ještě upraven vhodným filtrem k odstranění nežádoucích kmitočtů. Tento signál ale není dostatečně silný, proto se opětovně musí zesílit a odrušit. ODU mají více zesilovačů a jsou patřičně dimenzovány na poměrně velký výkon s lineárním zesílením. Jsou to právě zesilovače, které značně prodražují celou jednotku.



Obrázek 1.10: Univerzální blokové schéma ODU [10]

1.6.2 IDU

Jednotka je nejčastěji umístěna v Racku. Úkolem je modulace a demodulace signálu, kódování, multiplexování a možnost servisní správy celé jednotky. S ODU je spojena mikrovlnným kabelem, nejčastěji s impedančním odporem 75 Ohm. IDU může vysílat signál pro více ODU jednotek, kombinovat je a přímo propojovat. Nevýhodou je samotný útlum vlnovodu.

1.6.3 Komplettní řešení

Spojuje ODU a IDU do jednoho rádia, které je umístěno hned za anténou. Odpadají tak ztráty způsobené mikrovlnným kabelem a jednotka je energeticky úspornější. Omezení nastává pouze v rozšířených funkcionalitách radia. Zařízení jsou vybaveny již FE/GE nebo SFP porty. Nejčastějším dodavatel u nás je ALCOMA, ORCAVE, SITEL, RACOM a další.

1.7 Polarizace a potlačení křížové polarizace

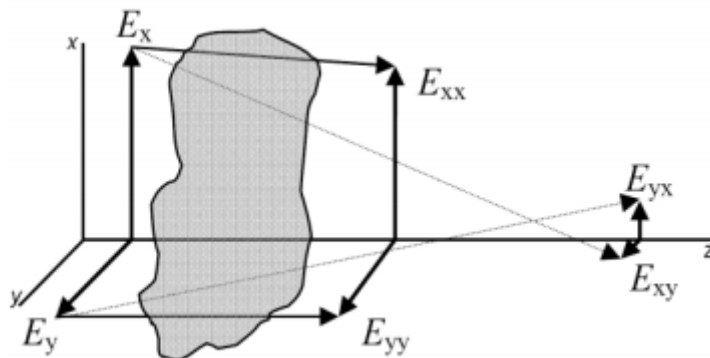
U základního modelu šíření elektromagnetické vlny se předpokládá, že výsledný vektor má pouze složku ve směru osy z kolmou, na směr šíření. V takovém to případě, se bavíme o lineárně polarizované vlně. Zde je potřeba rozlišit, zda směr šíření je vertikální nebo horizontální k povrchu země.

Budeme-li uvažovat nad směrem šíření v ose yz , kdy vznikne mezi vektorem v rovině E_z a E_y drobný fázový posuv ϕ jejich amplitud, začne docházet k eliptické (kruhové) polarizaci. Podle fázového posuvu se pak rozlišuje, zda je kruhová polarizace levotočivá nebo pravotočivá. U lineární polarizace je fázový posuv 0° nebo 180°

Rozlišujeme tedy:

- Lineární polarizaci
- Kruhovou polarizaci

Pro mikrovlnné spoje je ideální lineární polarizace, jelikož na stejném kanálu můžeme využít obou rovin k přenášení informací. V ideálním prostředí jsou od sebe roviny dokonale izolované a jsou ortogonální vůči sobě. Praxe ale tak přívětivá není a v reálném přenosovém prostředí dochází k depolarizaci.



Obrázek 1.11: Depolarizace rovinné elektromagnetické vlny [11]

Míra depolarizace je vyjádřena jako XPD (*Cross-Polar Discrimination*) nebo XPI (*Cross-Polar Isolation*).

$$XPD = 20 \log \left(\frac{|E_{xx}|}{|E_{xy}|} \right) \quad (1.7)$$

$$XPI = 20 \log \left(\frac{|E_{xx}|}{|E_{yx}|} \right) \quad (1.8)$$

Zjednodušený model rádiového kanálu se dá vyjádřit i následující rovnicí:

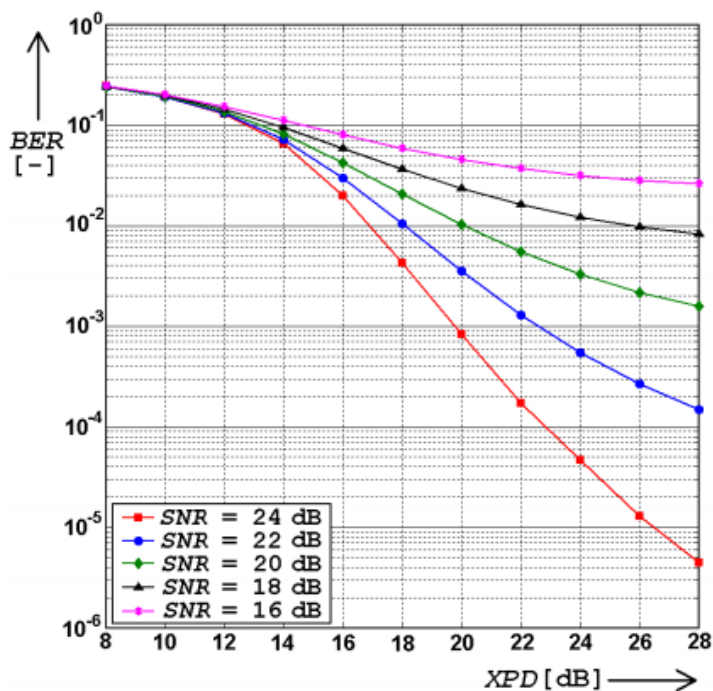
$$XPD = 20 \log \left(\frac{P_0}{P_x} \right) \quad (1.9)$$

kde:

P_0 = přijímaný výkon normálně polarizované vlny [W]

P_x = přijímaný výkon ortogonálně polarizované vlny [W]

Čím vyšší modulace (nebo složitější přenosový systém), tím vyšší je požadavek na potlačení křížové polarizace. V základním principu všech metod k dosažení potlačení stojí napřed zregenerovat signál a následně odečíst část druhého regenerovaného signálu ortogonálně polarizovaného kanálu. Tento princip ovšem nese velké nároky na nízkou chybovost spoje BER.



Graf 1.1: Závislost XPD na kvalitě odstupu SNR [1]

V případě podpory XPIC v rádiovém spoji, můžeme uvažovat o použití polarizační výhybky. Ta dovoluje instalovat dvě ODU na jednu anténu, k navýšení kapacity spoje nebo k vytvoření záložní linky na stejném kanálu. Podmínkou je ale mít kruhový profil zářiče. Celkový útlum výhybky nesmí být větší než 0,3dB.

1.8 Vlnovod

Pohlížejme na něj jako na prostředníka, který spojuje rádiovou jednotku s anténou. Přímé umístění zdroje do antény by nebylo nijak výhodné, především kvůli servisu zásahu, výměny antény a dalších potřebných úkonů. Je zapotřebí dostat signál z rádiové jednotky až na zářič, ze kterého se signál odrazí do paraboly a následně do požadovaného směru. V anténě nazýváme vlnovod zářičem, který dovede signál až na ozařovač. Zářič s ozařovačem musí být přesně v ohnisku antény, vlnovod za anténou můžeme mít libovolně dlouhý v ideálních podmínkách.

Nejčastěji se používá obdélníkové nebo kruhové vedení, přizpůsobené konkrétní vlnové délce. To je potřeba především kvůli dodržení zákona odrazu. Jsou-li vnitřní rozměry vedení

menší než $\lambda/2$, vzniká velký útlum ve vlnovodu. Na druhé straně, je-li rozměr větší než $\lambda/2$, hrozí nebezpečí vzniku vyšších módů a velkého útlumu.

K vedení je tedy potřeba mít povrch dokonale vodivý, vyleštěný, bez nerovností. Běžně jsou tak vlnovody postříbřené a vyleštěné. Aby bylo možné signál šířit, je potřeba překonat mezní kmitočty. Ten lze vypočítat podle vzorce:

$$f_m = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r\mu_r}}k_c \text{ [Hz]} \quad (1.10)$$

kde:

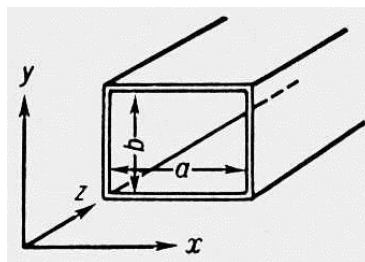
- c = rychlost světla [m/s^{-1}]
- k_c = konstanta příčného řezu
- ϵ_r = permitivita
- μ_r = permeabilita

Konstantu příčného řezu obdélníkového vedení lze vypočítat podle vzorce:

$$k_c = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (1.11)$$

kde:

- a = rozměr širší strany [mm]
- b = rozměr užší strany [mm]
- m, n = vidové číslo [Z]



Obrázek 1.12: Průřez obdélníkového vlnovodu [12]

1.9 Retranslace pasivní

Mikrovlnný signál se může přirovnat k paprsku světla. Jeho hlavní charakteristická vlastnost je šíření signálu po přímce bez možnosti ohybu. V případě, kdy nám v cestě stojí překážka kterou je potřeba obejít, musíme uvažovat o retranslaci. Za pasivní retranslaci je považováno:

- použití odrazné desky
- použití antén spojených vlnovodem

Použití odrazné desky vyžaduje velké nároky na odraznou plochu. Ta musí být dokonale vyleštěná a její velikost se vypočítává ze vztahu pro první Fresnelovu zónu (vysvětleno v následující kapitole). Běžně tato metoda nese poměrně velké obtíže:

- velikost odrazné plochy může dosáhnout až několika čtverečních metrů
- velké riziko poškození při povětrnostní nepřízni
- velké nároky na čistotu odrazné plochy
- složitá instalace a směřování
- při překročení úhlu 100 stupňů musíme použít dvě odrazné desky proti sobě

Retranslace pomocí antén je snadnější na montáž. Instalované antény se propojí vlnovodem, který nám umožní obejít složitější překážky. Taková to retranslace je poměrně levná a nenáročná na instalaci. Je nutné počítat s nárůstem útlumových členů.

Celkové ztráty se dají vypočíst ze vzorce:

$$L_0 = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 - (G_1 + G_2 + G_3 + G_4) \quad (1.12)$$

kde:

$L_1 =$ ztráty v napájecí vysílací antény [dB]

$L_{2,4} =$ ztráty šíření volným prostorem [dB]

$L_3 =$ ztráty v napájecí mezi anténami retranslační stanice [dB]

$L_5 =$ ztráty napáječe přijímací antény [dB]

$G_1 \div G_4 =$ zisk jednotlivých antén [dB]

Přijímaný výkon vypočteme ze vzorce:

$$P_R = P_T + L_0 \quad (1.13)$$

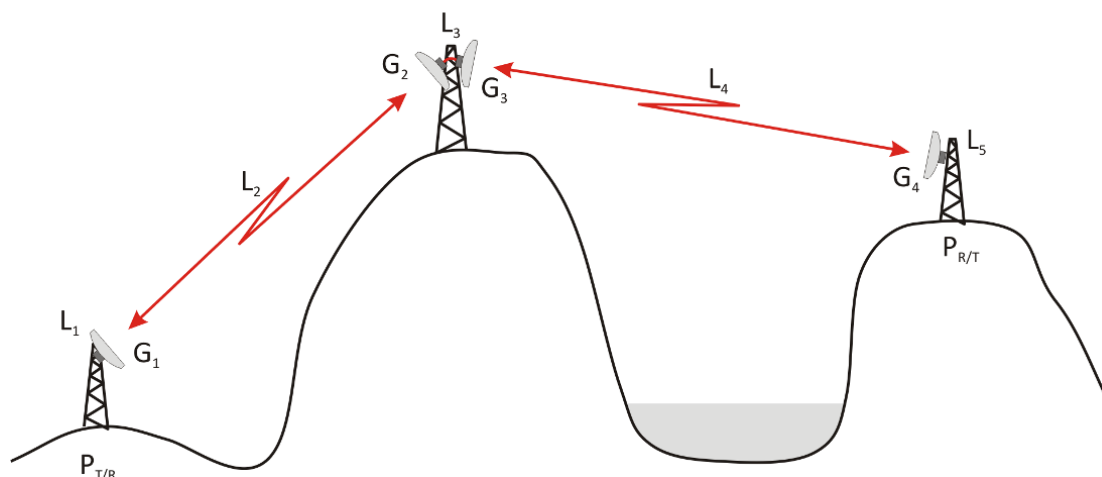
kde:

$L_0 =$ ztráty po celé trase [dB]

$P_R =$ Výstupní výkon vysílače [dB]

$P_T =$ Přijímaný výkon koncové stanice [dB]

Pasivní retranslace pomocí dvou parabolických antén



Obrázek 1.13: Schéma pasivní retranslace s jednou retranslační stanicí [13]

1.10 Retranslace aktivní

Tento typ retranslace se zakládá na použití aktivních prvků, které signál zachytí, zesílí a následně vyšlou na druhou stanici. Není ale možné signál odbočit na třetí stanici, jelikož zde nedochází k demodulaci ani modulaci signálu.

Výhody:

- velký zisk přenosové soustavy
- vysoká spolehlivost
- možnost využití k napájení běžné rozvodné sítě, solární elektrárny, větrné elektrárny nebo napájení z baterií
- instalace velmi blízko antén
- cenově výhodnější než použití plně hodnotných rádiových jednotek

1.11 Modulace

Rozvoj digitální technologie a dostupnosti služeb elektronické komunikace vyžaduje efektivnějšího využití kmitočtového pásma. Klasické dostupné modulační metody, jako je AM, FM, PM již nejsou schopny plně pokrýt moderní nároky na přenosovou rychlost.

Princip dnešních modulací spočívá v kombinaci předchozích modulačních metod s fázovým a časovým posuvem. Takové to modulace se nazývají více stavové. Mezi nejvýznamnější patří OFDM, QPSK, QAM.

1.11.1 OFDM

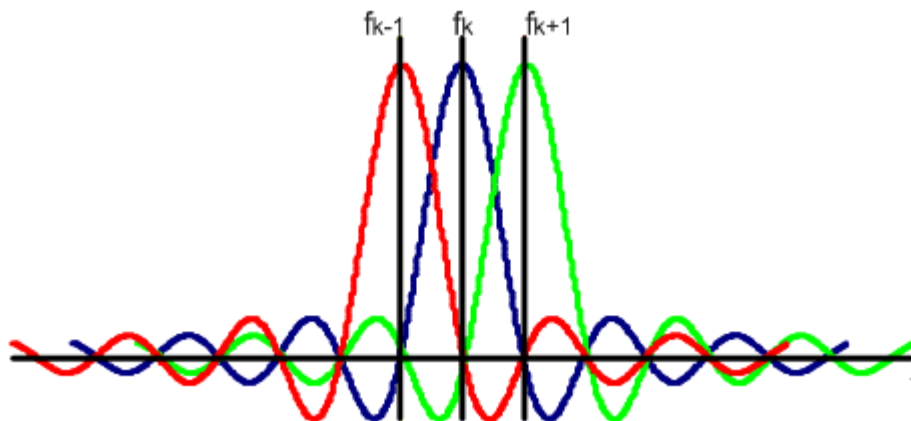
Modulační metoda OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) využívá kombinace několika desítek až tisíců nosných kmitočtů s rovnoměrným odstupem. Datový tok se kouskuje do velkého počtu na sobě nezávislých subnosných napříč dostupným přenosovým kanálem. V době, kdy jedna subnosná dosahuje svého maxima, jsou ostatní subnosné rovné nulové hodnotě. Vzniká tak ortogonalita mezi subnosnými, zároveň se dosahuje poměrně nízkých nároků na modulační rychlost a metoda OFDM se stává poměrně odolná proti vícecestnému šíření. K zajištění větší stability je použito vkládání ochranného intervalu, díky kterému má dekodér možnost relativně spolehlivě přijmou vysílaný symbol. Významná charakteristika pro tuto metodu je ve vysoké odolnosti proti interferenci mezi symboly ISI (Inter Symbol Interference) a nosnými ICI (Inter Carrier Interference). K tomu je využíváno vkládání cyklické předpony CP (Cyclic Prefix), která vytváří časový odstup jednotlivých subnosných. CP vytváří časový odstup, ve kterém dochází k mezi symbolové interferenci a zjednodušuje synchronizaci. V dekodéru se pak CP odstraňuje.

Vypustíme-li ochranný interval, můžeme signál subnosné vystupující z modulátoru popsat vztahem:

$$\Phi_k(t) = e^{j2\pi f_k t} = \cos(j2\pi f_k t) + j \sin(j2\pi f_k t) \quad (1.14)$$

Kde:

f_k = kmitočet k-té subnosné [MHz]



Obrázek 1.14: Subnosné OFDM modulace [14]

1.11.2 QAM

Modulační metoda QAM (Quadrature amplitude modulation) využívá kombinace fázového klíčování (PSK) a víceúrovňového amplitudového klíčování (ASK).

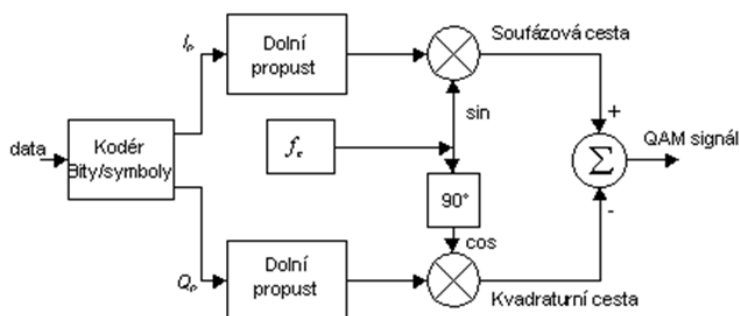
Jedná se o M-stavovou modulaci, která přiděluje n -počet bitů pro přenos potřebného symbolu. Ten se kóduje do jednotlivých kvadrantů a má své pevné místo. Pro modulační

metodu 16-QAM tak potřebujeme 4bity - tzv. kvadbyty [a,b,c,d]. Každý kvadbit může být vyjádřen až 16 různými kombinacemi amplitudy a fáze. Kvadbit se rozdělí na dva dibity (dibit [a,b] a dibit [c,d]), které vstupují spolu do modulátoru, ale dělí se tam do horní a dolní větve. Obě větve vyjadřují dibit jednou ze čtyř možných úrovní. Výsledný signál obou větví, se musí ještě fázově otočit o 90° stupňů a sečíst.

Tabulka 1.3: *Vyjádření dibitu [3]*

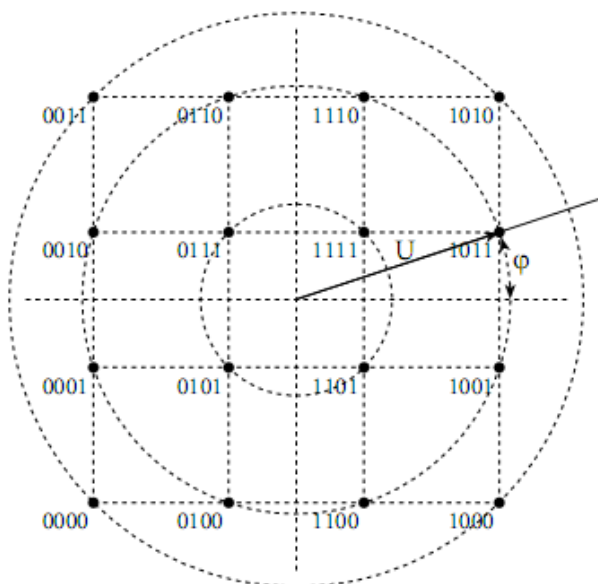
I	A_2	A_1	$-A_1$	$-A_2$
ab	11	10	00	01

Q	A_2	A_1	$-A_1$	$-A_2$
cd	11	10	00	01



Obrázek 1.15: *Kodér QAM [15]*

Výsledný signál lze vyjádřit pomocí konstelačního diagramu. Tato metoda má poměrně velké požadavky na SNR. Pokud nemáme dostatečnou úroveň SNR, dochází pak k rozproštění konstelačního diagramu a velké chybivosti BER.



Obrázek 1.16: *Konstelační diagram pro 16-QAM [16]*

2 Popis způsobu návrhu a samotné instalace mikrovlnných spojů

Výhoda výstavby mikrovlnného spoje je oproti pokládce optické trasy v poměrně levném a rychle dostupném řešení datového spoje. Přesto se musí vzít v potaz, že rádiové spoje mají poměrně omezenou šířku pásma a trpí řadou nedostatků.

2.1 Statické výpočty - teorie

S ohledem na správnou volbu spoje, je třeba napřed provést analýzu prostředí a posoudit, jakých parametrů chceme dosáhnout. Úkolem tedy bude najít správný kmitočet, zvolit vhodnou modulaci a posoudit jednotlivé podmínky pro provoz.

Na začátku je potřeba si položit pár základních otázek:

- Na jakém kmitočtu chceme vysílat?
- Jaká je délka trasy?
- Jaká je požadovaná propustnost spoje?
- Máme nějaké omezení dle šířky pásma?
- Máme přímou viditelnost?

Známe-li odpovědi na konkrétní otázky, můžeme navrhnout optimální spoj. Bez výpočtu to ale nepůjde, v úvahu je potřeba vzít následující kritéria:

- Útlum při šíření volným prostorem (Free space path loss - FSPL)
- Vícecestné šíření (Multipath fading)
- Útlum deštěm (Rain attenuation)
- Rezerva na únik (Fade margin)
- Výpočet linky (link budget calculation)
- Výpočet první Fresnelovy zóny
- Výkon vyzářený vysílací anténou EIRP

K tomu je vhodné si ještě dopočítat některé další parametry:

- Napětí RSSI
- Roční poplatek za licenční pásmo

2.1.1 Útlum při šíření volným prostorem

Při šíření elektromagnetické vlny prostorem, dochází k jejímu oslabení. Názorným příkladem je světlo žárovky. Půjdeme-li dále od zdroje, paprsky světla osvětlují čím dál větší plochu, až do doby, kdy samotný svit je již téměř nepatrný. Došlo k útlumu elektromagnetické vlny v prostoru. Tento děj definujeme jako difuzní ztrátu intenzity elektromagnetické vlny ve volném prostoru. Z těchto podmínek lze odvodit závěr, čím větší vzdálenost bude mezi vysílačem a přijímačem, tím větší útlum na trase vznikne. Útlum není přímo úměrný

k vzdálenosti trasy (v reálném prostředí musíme počítat i s dalšími útlumy, které především s větší vzdáleností zvětšují celkový FSPL). Vlny o vyšším kmitočtu mají kratší vlnovou délku a prostorem se šíří hůře. Útlum volným prostorem lze tak definovat následující rovnicí:

$$FSPL = \frac{P_t}{P_r} = \frac{(4 \cdot \pi \cdot R \cdot f)^2}{c^2} \quad (2.1)$$

$$FSPL = 32,44 + 20 \log f + 20 \log D \quad (2.2)$$

kde:

FSPL = free-space path loss [dB]

P_t = vysílaný výkon [W]

P_r = přijatý výkon [W]

R = vzdálenost mezi vysílači [m]

f = frekvence vysílaného signálu [GHz]

D = vzdálenost mezi vysílači [m]

2.1.2 Vícecestné šíření

V ideálním prostředí se elektromagnetická vlna šíří z bodu A do bodu B přímočaře. Ostatní paprsky se nemají od čeho odrazit, tudíž nemají se jak dostat z bodu A do bodu B a nedojde tak k žádnému ovlivnění. V reálných podmínkách dochází k odrazům od různých překážek. Za ty lze považovat například vodní plochy, budovy, vodivé předměty a další možné překážky. Stejný signál se může šířit z bodu A do bodu B s určitým prodlením, díky jiné délce dráhy. Takový to signál je většinou postižen změnou amplitudy nebo fáze. Velký vliv hraje i troposféra, která se v průběhu dne mění podle K-faktoru. Nejhorší možný případ nastává, když do přijímače dorazí signály o stejné amplitudě, ale opačné fázi. Signály se sčítají a vyruší se navzájem.

Potlačení lze dosáhnout pomocí použití diverzity:

- Časová diverzita – data vysíláme v několika časech nebo s prokládáním.
- Prostorová diverzita – používá se více antén, které jsou od sebe vzdáleny alespoň 1m ve vertikální nebo horizontální polarizaci.
- Frekvenční diverzita – data vysíláme na několika frekvencích, využívá se techniky rozprostřeného spektra.
- Polarizační diverzita – data vysíláme s různou polarizací.

Dle ITU-R P.530-14 používáme pro výpočet následující vzorec:

$$p_w = K d^{3.4} (1 + |\varepsilon_p|)^{-1.03} f^{0.8} \times 10^{-0.0007 \theta_L - A/10} \quad \% \quad (2.3)$$

$$|\varepsilon_p| = \frac{|h_r - h_e|}{d} \quad (2.4)$$

kde:

d = délka linky [km]

f = kmitočet [GHz]

h_L = výška nižší antény nad terénem [m]

A = zeslabení signálu [dB]

h_r, h_e = výška antén nad mořem [m]

K = geoklimatický faktor [Z]

Geoklimatický faktor vychází z doporučení ITU-R P.453. Počítá se s hodnotou dN_1 od -242 do -362, pro ČR počítáme s průměrnou hodnotou -300.

$$K = 10^{-4.6 - 0.0027 \cdot dN_1} \quad (2.5)$$

2.1.3 Útlum deštěm

Kmitočty nad 10GHz jsou poměrně ovlivněné intenzitou srážek. ITU- R vydalo mapu [příloha A], ve které je definováno celkem 15 oblastí podle dlouhodobého sledování a měření srážek. Význam této mapy napomáhá k stanovení rezervy na únik, jelikož při intenzivním dešti dochází k zhoršení podmínek přenosového prostředí a tím stoupá celkový útlum. Tato mapa vychází z doporučení ITU-R PN.837-1 a zavádíme z ní pojem "výpočet spolehlivosti - dostupnosti spoje". Tato hodnota se následně udává jako poměrná část, kdy je služba dostupná k celému roku v [%].

Aby bylo možné vypočítat specifický útlum pro potřebný kmitočet, slouží nám ITU-R P.838-3. Každá polarizace má své specifické parametry, především nás zajímá hodnota $k_h, k_v, \alpha_h, \alpha_v$. Jednotlivé hodnoty vypočteme ze vztahu:

$$\log k = \sum_{j=1}^3 \left(a_j \exp \left[- \left(\frac{\log f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] \right) + m_k \log f + c_k \quad (2.6)$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^4 \left(a_i \exp \left[- \left(\frac{\log f - b_i}{c_i} \right)^2 \right] \right) + m_\alpha \log f + c_\alpha \quad (2.7)$$

kde:

f = frekvence [GHz]

k = hodnoty k_h, k_v

α = hodnoty α_h, α_v

$a, b, c, m_k, c_k, m_\alpha, c_\alpha$ jsou uvedeny v příloze B.

Z následujících výpočtů lze odvodit závěr, ve kterém horizontální polarizace je více ovlivněná deštěm, než polarizace vertikální.

$$\gamma_R = kR^\alpha \quad (2.8)$$

kde:

γ_R = útlum deštěm [dB/km]

k = hodnoty dle přílohy B.

α = hodnoty dle přílohy B.

R = srážková úroveň dle obrázku 2.1

2.1.4 Rezerva na únik

Rezerva na únik hraje podstatnou roli při návrhu mikrovlnného spoje. V principu nastavuje hranici, ve které spoj může fungovat i při ztížených podmínkách, zejména díky vícecestnému šíření a útlumu způsobeným deštěm. Pokud rezervu zvolíme příliš malou, bude spoj méně stabilní a nebude vždy možné zajistit dostupnost a spolehlivost služby v požadované míře. Bude-li rezerva příliš velká, budeme budovat neekonomický spoj.

Při výpočtu rezervy na únik se vychází z předpokladu, že nikdy nenastanou obě situace najednou. Tím pádem počítáme s tou hodnotou, která má větší útlum. Rádiová část funguje v určité provozní hladině. Pokud zaznamená zhoršení kvality linky, spustí algoritmus, podle kterého začne vysílat vyšším výkonem v nastavených mezích. Po celou dobu komunikuje s protější stanicí a domlouvá si neoptimálnější parametry. Při zlepšení podmínek ubere na vysílacím výkonu.

2.1.5 Výpočet první Fresnelovy zóny

Francouzský fyzik Augustin Jean Fresnel zdokonalil Huyegensovu vlnovou teorii. V jeho výzkumu objasnil rotační elipsoidy, které vznikají při šíření elektromagnetického vlnění prostorem. Nejdůležitějším se stala první Fresnelova zóna, ve které se přenáší až 60% energie. Pokud si spojíme vysílač s přijímačem, stává se vzniklá spojnice středem kružnic, ve kterých probíhá rádiová komunikace. Nejmenší přípustnou vzdálenost překážky od přímé spojnice lze vypočítat ze vztahu

$$F_n = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} n} \quad (2.9)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.10)$$

kde:

F_n = poloměr n-té Fresnelovy zóny [m]

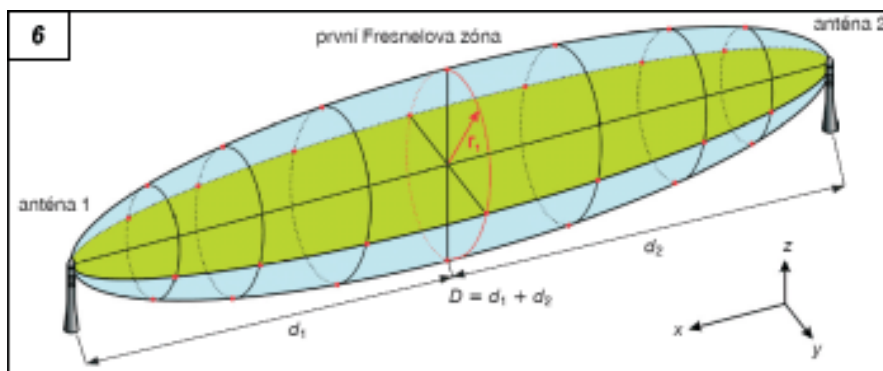
d_1, d_2 = vzdálenost překážky od konce [m]

$c =$ rychlost světla [m/s^{-1}]

$f =$ kmitočet [GHz]

$\lambda =$ vlnová délka [m]

Velikost poloměru kružnice stoupá s délkou spoje, zároveň ale klesá s použitím vyššího kmitočtu. Je tedy nutné kromě zajištění přímé viditelnosti snažit se vyhnout překážkám, které narušují první Fresnelovou zónu.



Obrázek 2.1: Znáznornění Fresnelovy zóny [17]

2.1.6 Útlum v důsledku atmosférických plynů

Mikrovlnný signál jak již bylo uvedeno, se skládá ze dvou složek a to ze složky elektrické a magnetické. Prostředí, kterým se tato vlna šíří, je nasyceno molekulami kyslíku, vody a dalších plynů. Přirozeně při průchodu rádiové vlny tímto prostředím, dochází k útlumu díky fyzikálním rezonancím na úrovni molekul. Útlum je přímo úměrný teplotě, tlaku (nadmořské výšce), obsahu vodních par a kmitočtů. Tyto faktory zásadně ovlivňují výsledný spektrální graf, kdy jednotlivé spektrální čáry jsou ovlivněny navíc Dopplerovým jevem.

Celkový útlum je popsán a vyjádřen v ITU-R P.676 v rozmezí 1-1000GHz. Uvažujeme-li nad složením atmosféry (ovlivnění zejména díky teplotě, tlaku a vlhkosti) jako konstantních parametrů podél celé trasy, lze vyjádřit útlum tohoto prostředí v dB/km (nutno počítat s velmi malým sklonem - elevace antén). Celkový útlum lze zjednodušeně vyjádřit:

$$\gamma = \gamma_o + \gamma_w \quad (2.11)$$

kdy:

$\gamma_o =$ specifický útlum pro kyslík [dB/km]

$\gamma_w =$ útlum vodních par [dB/km]

Doporučení ITU-R P.676 nám udává dva možné postupy k výpočtu útlumu pro daný kmitočet. První postup bude velmi početně náročný, můžeme jej s minimální odchylkou použít na celé spektrum 1-1000GHz. Druhý postup je snadnější, ale je omezený na pásma 1-350 GHz s maximální nadmořskou výškou do 10km. Odchylka od přesného výpočtu bude 0,1 - 0,7 dB/km (max. hodnota se nachází v oblasti 60 GHz). Průběh najdeme v příloze C a D.

Zajímavý jev nastává kolem oblasti 60 GHz, kdy obě složky v spektrálním grafu můžou začít splývat. Kmitočet 118,750343 GHz se používá pro armádní potřebu nebo pro potřebu velmi krátkého skoku, kdy potřebujeme maximálně omezit délku skoku. Tyto oblasti označujeme jako rádiová okna (nevhodné kmitočty díky velkému útlumu).

2.2 FEC

Přenos dat je poměrně náročná operace, při které může dojít v přenosovém médiu k přeslechům nebo ztrátě užitečné informace. Následkem těchto chyb vzniká nesouvislý datový tok a nečitelné informace. Aby se chyba dala zaznamenat, je potřeba použít detekčních kódů.

Možnosti použití kódů je více, v zásadě je dělíme na dvě skupiny:

- Detekční kódy
- Samo opravné kódy

Samo opravné kódy následně dělíme na:

- Konvoluční – proměnná délka slova
- Blokované – pravidelná délka slova

Před samotným přenosem se data rozdělí na určitou délku mezi značky. Slovo se doplní o redundantní data, které nesou informaci o slově. Vzniklý blok je následně předán k zpracování a odvysílání. Na straně přijímače se blok dekoduje a přeloží. Při použití detekčních kódů se vyhodnotí pouze, zda slovo odpovídá kontrolnímu součtu. Pokud vyhovuje podmínce, je slovo předáno dál, pokud ne, je vyslán požadavek na opětovné odvysílání. Tato technika je méně náročná na výpočet, při chybě ale dochází k značnému prodloužení v přenosové soustavě, díky potřebě získat znovu celý blok od zdroje.

Samo opravné kódy dokážou špatně přenesené bity detekovat a opravit. Jsou závislé na výpočetním výkonu. Mezi nejznámější patří:

- Turbo kódy
- Hamming codes
- Reed-Solomon codes
- Hadamard codes
- Reed-Muller codes

2.3 SNR

Odstup signál/šum (Signal to Noise Ratio) vyjadřuje poměr mezi užitečným signálem a okolním šumem. Za okolní šum lze považovat signál zasahující do našeho použitého kmitočtu. Rušení tak může přicházet z okolních vysílačů, náhodných výbojů nebo jiných zdrojů šumu. Signál může být rušen i z vlastního zdroje. Každá modulace má svou specifickou prahovou citlivost, která je závislá na šumovém čísle použitých součástek. Signál před namodulováním na konkrétní kmitočet už má určitý poměr SNR. Pro 265QAM je běžná hodnota SNR 20–24dB, pro QPSK 7-10dB.

Nejsnadnější způsob jak stanovit SNR je z konstelačního diagramu. Analyzujeme každý přijatý modulační stav a jeho vzdálenost od ideální pozice. Vysoký odstup SNR nám v konstelačním diagramu vytvoří prakticky stejné a identické body. Nízký poměr SNR v konstelačním diagramu vytvoří velmi hustou mapu bodů. Výsledkem je nečitelnost daného signálu a vysoký BER.

2.4 Prahová citlivost

Souvisí s SNR a BER. Reálně vyjadřuje poměr, do jaké signálové úrovně se spoj může dostat, aniž by spoj byl klasifikován jako chybující. Teoreticky se prahová citlivost může spočítat z šumových čísel součástek, výsledná hodnota bude pouze orientační.

Reálné stanovení prahové citlivosti provádíme pro každý kanál, modulaci a šířku pásma zvlášť, výsledná hodnota je zprůměrována z několika desítek vzorků. Test se provádí na vlnovodné trase, s postupným zatlumováním autenátoru do doby, než spoj začne chybovat na $BER=10^{-6}$ a více. Výsledná prahová citlivost se následně musí ještě ověřit v reálných podmínkách a při provozní teplotě od -30°C až do $+50^{\circ}\text{C}$. Prahová citlivost je závislá na použitém kmitočtu.

2.5 BER

Jedním z velmi sledovaných parametrů je BER (zkratka z anglického Bit Error Rate), který lze definovat jako poměr počtu chybně přenesených bitů k celkovému počtu přenesených bitů za stanovenou jednotku času (nejčastěji 1 sekundu).

$$BER = \frac{n_c}{N_B} \quad (2.12)$$

kde:

n_c počet chybně přenesených bitů [Z]

N_B počet celkově přenesených bitů [Z]

Tabulka 2.1: Obecné vyhodnocení BER [4]

Úroveň BER	Hodnocení
10^{-9} a méně	výtečná kvalita
10^{-9} až 10^{-6}	vynikající kvalita
10^{-6} až 10^{-3}	zvýšená chybovost
10^{-3} a více	nevyhovující kvalita

Měření BER probíhá na konkrétní soustavě při dané modulaci. Teoretické výpočty lze stanovit dle příslušných vzorců, za předpokladu použitého bílého Gaussovského šumu (AWGN – Additive White Gaussian Noise)

$$P_{se} = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \cdot \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3}{2} \cdot \frac{SNR}{(M-1)}} \quad (2.13)$$

kde:

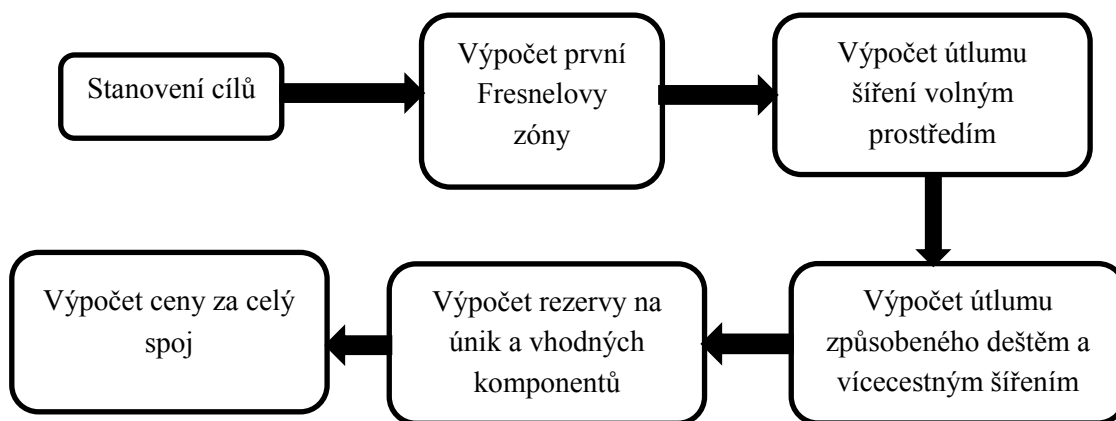
M = počet stavů modulace QAM [Z]

SNR = odstup signál/šum [dB]

Nulové chybovosti lze dosáhnout velmi obtížně. V přenosové soustavě je poměrně mnoho faktorů, které mohou chybu způsobit. Kromě chyb vzniklých v přenosovém prostředí, ať už díky útlumu prostředí, vícecestnému šíření, špatnou synchronizací atd., zde máme i chyby vzniklé při zpracování signálu. Rádiová jednotka má velmi citlivé součástky a filtry, které jsou ovlivněny především vlastním teplem, napětovým šumem a zkreslením. Úkolem jednotky je tyto chyby zaznamenat, odfiltrovat a vnitřním algoritmem opravit (FEC), případně požádat vysílací stanici o opětovné odvysílání chybně přenesené sekvence dat.

V radiokomunikaci se můžeme setkat i se zkratkou PER (z anglického Packet Error Ratio), pod kterou si můžeme představit ztrátu již celých paketů, k celkovému počtu přenesených paketů. Ztráta paketů je už poměrně závažnějším problémem, jelikož přijímací strana již nemá možnost použít opravných algoritmů, ale musí požádat vysílací stranu o opětovné odvysílání bloku dat, což v důsledku je jedním z možných činitelů, které zvyšují latence spoje.

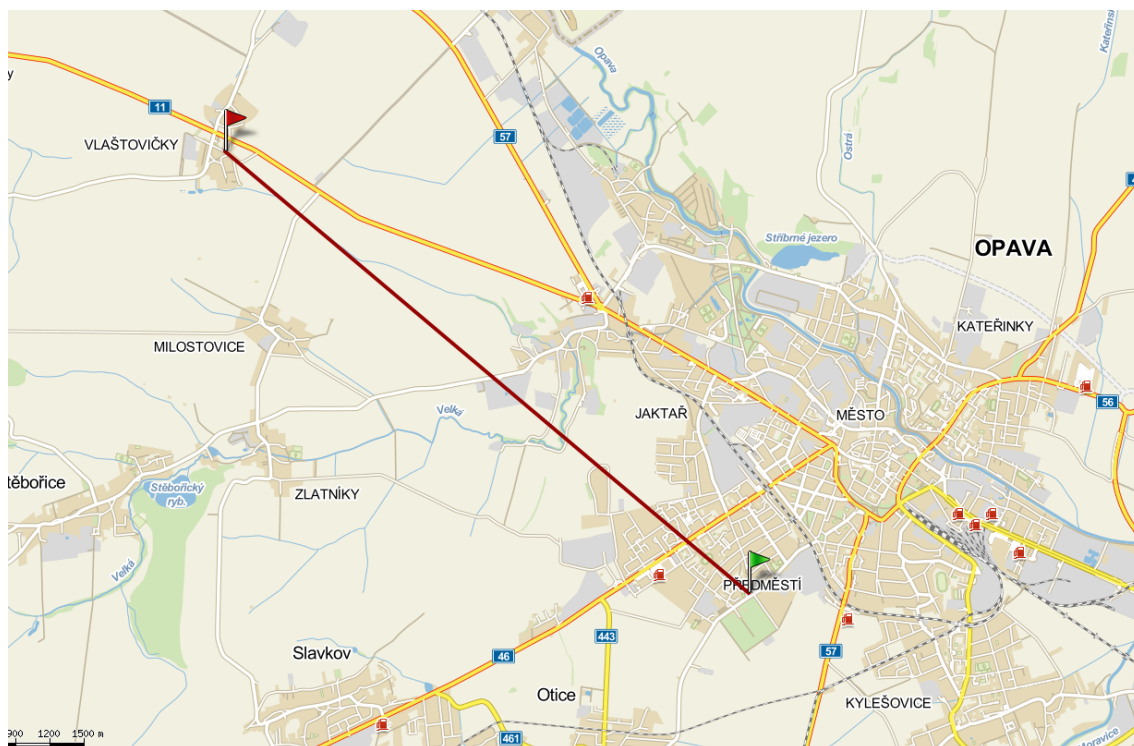
2.6 Volba spoje



Obrázek 2.2: Blokové schéma postupu návrhu [18]

Zadání č.1:

Internetový poskytovatel chce vybudovat spoj mezi Opavou a Vlastovičkami.



Obrázek 2.3: Mapa trasy budovaného spoje [19]

Postup řešení:

Délka trasy: 6.126 km

Výška antény A: 305m (nad mořem)

Výška antény B: 260m (nad mořem)

Výška překážky v trase: 281m (nad mořem)

Vzdálenost od nejbližší antény: 81m od překážky A

Pozice lokality: Česká Republika

Požadovaná kapacita spoje: 200Mbps 64 QAM 40MHz -72dB

Požadovaná spolehlivost: 99,99%

Požadovaný kmitočet 11,2GHz (20dBm pro 11GHz)

Krok 1 - Výpočet první Fresnelovy zóny

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{11.2} = 0.0268m$$

$$F_1 = \sqrt{0.0268 \frac{81 \cdot 6045}{81 + 6045}} = 1.46m$$

Ve vzdálenosti 81m od vysílače A, bude mít poloměr první Fresnelovy zóny velikost 1.46m od spojnice mezi vysílači. Překážka nám nebude zasahovat do první Fresnelovy zóny.

Krok 2 - Výpočet útlumu šíření volným prostředím

$$FSPL = 32,44 + 20\log f + 20\log D = 32,44 + 20\log 11,2 + 20\log 6126 = 129,2dB$$

Krok 3 - Výpočet útlumu způsobeného deštěm

Pro oblast 2 je při požadované spolehlivosti 99.99% potřeba počítat s těmito parametry:

$$f = 11GHz, R_{0.01} = 32, k_H = 0.01772, k_V = 0.01731, \alpha_H = 1.2140, \alpha_V = 1.1617$$

Vertikální polarizace

$$\gamma_{R0.01} = k_V R^{\alpha_V} = 0.01731 \cdot 32^{1.1617} = 0.97dB/km \rightarrow 5.94dB$$

Horizontální polarizace

$$\gamma_{R0.01} = k_H R^{\alpha_H} = 0.01772 \cdot 32^{1.2140} = 1.19dB/km \rightarrow 7.29dB$$

Krok 4 – Výpočet útlumu vícecestného šíření

$$|\varepsilon_p| = \frac{|h_r - h_e|}{d} = \frac{|320 - 260|}{6.126} = 7.3457mrad$$

$$\begin{aligned} P_w &= K^{-4.6 - 0.0027 \cdot d N_1} d^{3.4} (1 + |\varepsilon_p|)^{-1.03} f^{0.8} \cdot 10^{-0.00067 h_L - A/10} \\ &= 10^{-4.6 - 0.0027 \cdot (-300)} \cdot 6.126^{3.4} (1 + |7.3457|)^{-1.03} 11.2^{0.8} \cdot 10^{0.00067 \cdot 260 - A/10} \\ &= 0.059796 \cdot 10^{-0.1742 - A/10} \end{aligned}$$

$$A = -0.1742 - 10 \log \left(\frac{0.01}{0.059796} \right) = 7.6dB$$

Aby byla zajištěná minimální rezerva na únik pro kompenzaci útlumu vícecestného šíření, musíme počítat s minimální hodnotou 8dB.

Krok 5 – Výpočet parametrů linky

Zisk parabolické antény ø 65 je 35.2dBi, vyzářený výkon 20dBm

$$P_R = P_T + G_T + G_R - FSPL = 20 + 35.2 + 35.2 - 129.2 = -38.8dB$$

Rezerva na únik

$$A = |P_S| - |P_R| = 72 - 38.8 = 33.2dB$$

Při této hodnotě máme poměrně velkou rezervu na únik, která nám zajistí dostupnost až 99.9999% v roce. Tato rezerva nám ponechá poměrně velký manipulační prostor. Při použití moderního rádia a modulace 64QAM, můžeme počítat se vzdáleností 37,7 km při dostupnosti 99,99%. Spoj můžeme hodnotit jako zbytečně předimenzovaný, až neekonomický, alternativně

s velkou kapacitní rezervou. Při použití 1024QAM s 80MHz kanálem lze vytvořit spoj 660Mbps s dostupností 99.9994% na této navrhované trase.

Zadání č.2:

Výměna 11GHz rádia za 24GHz na stejné trase.

Postup řešení:

Délka trasy: 6.126 km

Výška antény A: 305m (nad mořem)

Výška antény B: 260m (nad mořem)

Výška překážky v trase: 281m (nad mořem)

Vzdálenost od nejbližší antény: 81m od překážky A

Pozice lokality: Česká Republika

Požadovaná kapacita spoje: 200Mbps 64 QAM 40MHz -68dB

Požadovaná spolehlivost: 99,99%

Požadovaný kmitočet 24.1GHz (20dBm pro 24GHz)

Krok 1 - Výpočet první Fresnelovy zóny

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{11.2} = 0.0124m$$

$$F_1 = \sqrt{0.0124 \frac{81 \cdot 6045}{81 + 6045}} = 0.9955m$$

Překážka nám opět nebude nijak narušovat první Fresnelovou zónu.

Krok 2 - Výpočet útlumu šíření volným prostředím

$$FSPL = 32,44 + 20\log f + 20\log D = 32,44 + 20\log 24,1 + 20\log 6126 = 135,8dB$$

Krok 3 - Výpočet útlumu způsobeného deštěm

Pro oblast 2 je při požadované spolehlivosti 99.99% potřeba počítat s těmito parametry:

$$f = 24GHz, R_{0.01}=32, k_V=0.1404, \alpha_V=0.9561, k_H=0.1425, \alpha_H = 1.0101,$$

Vertikální polarizace

$$\gamma_{R0.01} = k_V R^{\alpha_V} = 0.1404 \cdot 32^{0.9561} = 3.86dB/km \rightarrow 23.64dB$$

Horizontální polarizace

$$\gamma_{R0.01} = k_H R^{\alpha_H} = 0.1425 \cdot 32^{1.0101} = 4.72 \text{ dB/km} \rightarrow 28.93 \text{ dB}$$

Krok 4 – Výpočet útlumu vícecestného šíření

$$|\varepsilon_p| = \frac{|h_r - h_e|}{d} = \frac{|320 - 260|}{6.126} = 7.3457 \text{ mrad}$$

$$\begin{aligned} P_w &= K^{-4.6 - 0.0027 \cdot d N_1} d^{3.4} (1 + |\varepsilon_p|)^{-1.03} f^{0.8} \cdot 10^{-0.00067 h_L - A/10} \\ &= 10^{-4.6 - 0.0027 \cdot (-300)} \cdot 6.126^{3.4} (1 + |7.3457|)^{-1.03} 24.1^{0.8} \cdot 10^{0.00067 \cdot 260 - A/10} \\ &= 0.110384 \cdot 10^{-0.1742 - A/10} \end{aligned}$$

$$A = -0.1742 - 10 \log\left(\frac{0.01}{0.059796}\right) = 10.25 \text{ dB}$$

Aby byla zajištěná minimální rezerva na únik pro kompenzaci útlumu vícecestného šíření, musíme počítat s minimální hodnotou 11 dB.

Krok 5 – Výpočet parametrů linky

Zisk parabolické antény ø 65 je 35.2 dBi, vyzářený výkon 20 dBm.

$$P_R = P_T + G_T + G_R - FSPL = 20 + 35.2 + 35.2 - 135.8 = -45.4 \text{ dB}$$

Rezerva na únik

$$A = |P_S| - |P_R| = 68 - 45.4 = 22.5 \text{ dB}$$

Rezerva na únik 22,5 dB není dostačující pro útlum deštěm v horizontální poloze. Spoj bude dostupný pouze 99,97% času v roce. Pokud požadujeme dostupnost 99,99% času, musíme vyměnit jednu anténu za větší a získat tak alespoň 7 dB navíc.

2.7 Bezpečnost

Instalace spoje probíhá především na střešních prostorách, stožárech nebo výškových stavbách. Za práci ve výškách je považována činnost, která se provádí 1,5 m nad pevným povrchem země a hrozí riziko pádu nebo je prováděná práce, při které hrozí pád do volné hloubky pod úroveň okolního povrchu. Práce ve výškách se řídí především nařízením vlády č.362/2005 Sb.

Zaměstnavatel je povinen:

- Pořádat školení o používání OOP (Ochranné Osobní Prostředky)
- Informovat zaměstnance o rizicích, proti kterým je OOP chrání
- Udržovat OOP ve funkčním a nezávadném stavu
- Poskytnout OOP bezplatně

Za prvky kolektivní ochrany se považují pevné konstrukce, zábradlí ve výšce 1,5 m, sítě a lešení. Při práci ve výškách, kde nelze použít prvky kolektivní ochrany, používáme celotělové bezpečnostní postroje (neplést s horolezeckým sedákem), spojovací prostředky, karabiny,

tlumiče pádu, lana, kladky, Söll a další bezpečnostní prvky, které jsou v provozuschopném a nezávadném stavu.

Kotvící body musí být pevné a nepřesunovatelné. Při pohybu 1,5m od okraje používáme již bezpečnostní prvky a jištění na jednom pevném bodu. Doporučeno je užívat dvou i více jisticích prvků. Za ohrožený prostor lze považovat 3m od stožáru při práci ve výšce od 0 do 30 m, 1/10 výšky při práci ve výšce nad 30 m.

Vynášet břemena smíme pouze do 15kg. Břemena nad touto hmotností vytahujeme pomoci lana. Nikdy se nepoutáme k anténám!

Přerušit práci ve výškách musíme za bouře, silném dešti, teplotě pod -10 stupňů, dohlednosti menší než 30m nebo rychlosti větru přesahujícím 8m/s^{-1} (pátý stupeň Beaufortové stupnice).

2.8 Instalace spoje

Následující postup vychází ze školení a osobní praxe. V textu se můžou vyskytnout odlišnosti od doporučení ITU nebo výrobce.

Máme-li spoj vybraný, je vhodné provést některé úkony před samotnou montáží. Mezi tyto úkony patří především spojení obou jednotek. Zpravidla spoje, které kupujeme od výrobce a patří do vyšších kmitočtů, mají už v základu nastavenou minimální konfiguraci. Může nastat situace, kdy spoj není úplně nový nebo mezi jednotkami není zatím vytvořená žádná vazba. Takové to jednotky je vhodné si předem přednastavit někde "na stole", kvůli eliminaci chyb a doby výpadku, je-li spoj určený do již vybudované infrastruktury.

Prvním krokem je samotné sestavení spoje. To se skládá v propojení rádiové jednotky s napájecí jednotkou a propojení s PC. Způsobů propojení je více, nejčastěji se používá kabel venkovní SFTP Cat.7 (někde ještě Cat.6), mikrovlnný nebo optický kabel.

Preferované propojení je pomocí KRONE pásku (metalické propojení), kdy se jednotlivé žíly nacvaknou do lišty a odpadá tak trápení s vytvářením RJ konektoru. Výhodou KRONE je i rychlá oprava, pokud se nepodaří některou žílu správně nacvaknout. Někteří výrobci nabízejí i servisní link adaptér, který se jednoduše nacvakne na připravené piny a umožní připojení již hotového RJ kabelu. Takové propojení slouží výhradně k servisním účelům.

POZOR! Pokud jednotky nastavujeme "na stole", nikdy je nemíříme proti sobě! Vhodné je jednotky namířit proti zdi, kde není žádný kovový odrazový materiál nebo sklopit jednotky vlnovodem dolů. Pásku na vlnovodu necháváme stále nalepenou! Rádiové jednotky se při tomto nastavování nikdy neumísťují na antény! Po spuštění je vhodné jejich výkon stáhnout na minimum. Máme-li k dispozici vlnovodný nástavec s útlumovým článkem, můžeme jednotky skrz něj propojit a simulovat reálné podmínky útlumu v prostředí.

Po spuštění je třeba se přihlásit do rádia. Každé rádio má trochu odlišné servisní specifikace, z pravidla se lze připojit přes port RS232 nebo ethernet. Do systému se dá dostat přes www prohlížeč nebo příslušný dohledový program. Výhoda programu je většinou v

reálném sledování konfigurace a odpadá tak refresh. Nevýhoda je v nutnosti mít program neustále k dispozici. Drobné aplikace můžou být nahrány i přímo v rádiové jednotce (za příklad je vhodné uvést MikroTik, který je často používán pro nižší kmitočty). Před samotným nastavováním je vhodné si ověřit, zda používáme nejnovější firmware, případně jej aktualizovat.

Funkcionality rádia jsou závislé na licenci. Není-li zadán platný licenční klíč, nemusí být dostupné všechny modulace, které jednotka umí, šířky pásem, přenosové kapacity a další možnosti. Jednotka bez licenčního klíče má taky velké omezení na vysílacím výkonu. Před konfigurací proto zadáváme platný klíč, který máme zakoupený. Výhoda spočívá v cenové dostupnosti spoje pro aktuální požadavek, v případě potřeby navýšení lze zakoupit pouze vyšší level licence a spoj jednoduše upravit, nejsou-li překonány možnosti spoje.

Základní konfigurace spočívá v nastavení vazeb - SLINKOVÁNÍ, pokud již tak není nastaveno od výroby. To obsahuje uvedení identifikačních informací obou jednotkám, které mají spolu spolupracovat. Následně je potřeba rádia uvědomit o minimální konfiguraci, ve které mají spolu komunikovat. Zpravidla se jedná o nízkou modulaci a pár základních parametrů, které si spoj musí udržet v době nepřízně. Ztratí-li rádio komunikaci s protější stanicí a není-li možné s ní navázat komunikaci ani po úpravách vysílacího výkonu a parametrů po určitou dobu, vrací se jednotka do tohoto výchozího nastavení a čeká, dokud nedojde opět k navázání kontaktu.

Komunikace obou jednotek probíhá na definovaném kanálu. Jedná-li se o bez licenční pásmo, bývají kanály Tx a Rx již definovány podle platných nařízení, u nás dle ČTU. Nutno je si pohlídat, aby frekvence Tx stanice A byla frekvencí Rx stanice B a naopak. Bez této podmínky, nesouhlasné šířky pásma a nesprávné polarizace, by stanice spolu nebyly schopny navázat komunikaci. Pokud používáme licencované pásmo, bývá možnost si upravit ve zvláštním povolení i samotné rozsahy. Tomuto je vhodné se vyvarovat, kvůli rušení okolních kanálů.

Proběhne-li vše v pořádku, rádiové jednotky by měly spolu navázat komunikaci. Většinou máme možnost si jednotky současně otevřít a provést konfiguraci podle potřeb. Takto připravené rádia je již možné odvést na jejich stanoviště a donastavit dle potřeby již na zrealizované lince. Velmi častým prohřeškem programátora je zapomenutí ukládání konfigurace! Opomenutí použití tlačítka "Apply" (nejčastěji uváděného) v reálném provozu, již potrestalo nejednoho programátora (osobně potvrzeno)!

Rádiové jednotky jsou nyní připravené k instalaci do konkrétní trasy, stačí je odpojit od napájení, propojit s anténou a instalovat na konkrétním stanovišti.

Při montáži na stanovišti je důležité mít anténu správně připevněnou k montážnímu držáku na stožár. Rádio se pak jen zavěsí přímo za anténu, případně se propojí vlnovodem s anténou. Před zavěšením je nutné zkontrolovat polarizaci! Změna polarizace na anténě se nejčastěji provádí uvolněním aretačního šroubku a pootočením o 90 stupňů. Rádio se pak natáhne celé. Každý výrobce má svůj vlastní princip, je tedy nutné zvýšit pozornost při samotné montáži a kompletaci. V dalším kroku je potřeba sundat izolační pásku přes otvor vlnovodů, chránící

vlnovod před zanesením nečistot nebo poškozením. Tyto pásy se z všeobecné zvyklosti lepí na anténu, aby bylo jasné, že nedošlo k pochybení a nemusí se rádio zbytečně demontovat, vzniknou-li nějaké pochybnosti. Uložení rádia musí jít velmi snadno bez použití jakékoliv síly. Vlnovod společně s ozařovačem jsou opatřeny těsnícím O-kroužkem, který zabraňuje zatečení. Dotažením šroubů se spojí pevně rádio s anténou (nepoužíváme-li dodatečných vlnovodů). V některých případech se dnes setkáváme s N polarizací. Jedná se o kombinaci vertikální i horizontální polarizace na jedné anténě. Rádiové jednotky se umísťují na speciální adaptér umístěný přímo za anténou. Aby nedošlo k poškození obou jednotek velkým vysílacím výkonem na tak krátké vzdálenosti, používají se polarizační filtry přímo na adaptéru. Při tomto použití jsou kladeny daleko vyšší nároky na samotný ozařovač a synchronizaci rádiových jednotek.

Spojení rádia a napáječe se provádí již zmiňovaným kabelem podle typu jednotky. Jedná-li se o SFTP je potřeba si kabel správně naměřit, protáhnout maticí průchodky a použít těsnícího kroužku. Následně se kabely prostrčí do rádia a dotáhne se matice průchodky. Dbáme nato, aby se kabel nijak nepoškodil a nekroutil při dotahování. Kroucené páry se postupně odbalují ze stínící fólie. Zde je nutné dbát opatrnosti, ne všichni výrobci totiž značí druhý bílý vodič v páru i barvou. Může tak velmi snadno dojít k záměně, vybalíme-li všechny vodiče současně. Před zapojením do KRONE lišty je doporučeno si ponechat drobnou rezervu v podobě malého obloučku. Stínění vodičů se ukončuje na speciální svorce nebo přímo ve spoji průchodky, ať nezasahuje do skříně rádia. Druhý způsob je v nacvaknutí stíněného RJ-45 konektoru. V našich podmínkách se v obou případech využívá standartu EIA/TIA T568B - přímé zapojení, nestanovuje-li výrobce jinak. Třetí způsob je připojení optického vlákna převážně přes SFP modul a dodatečného napájení. Posledním nejčastěji používaným způsobem je napojení mikrovlnného kabelu přes N-female konektor. Zde je nutné po připojení konektor důkladně zaizolovat. K izolování se nejčastěji používá vulkanizační páska ROTUNDA ve dvou vrstvách, překrytá ještě elektrikářskou izolační páskou. Kabeláž je nutné přichytit ke stožáru a do trasy, nesmí se ponechávat velké průvěsy nebo příliš napnutý kabel. Rezerva se volí co nejmenší, u mikrovlnného kabelu prakticky minimální.

Rádio se uzemní pomocí zelenožlutého CY drátu průměru 4mm a více nebo zemnicí sady. Zemnicí drát by neměl směřovat nikdy dovrchu, spíš nejkratší možnou trasou k zemi. Odpor proti zemi by měl být minimální. Rádiové jednotky se umísťují do kovové krabice a využívá se principu Faradayové klece. Při správném uzemnění jemná elektronika by neměla být nikterak poškozena ani při zásahu bleskem. Na ochranu datového kabelu se používá bleskojistka, která je umístěna až mezi napáječem a odběrným místem, v některých případech i mezi napáječem a rádiem. Je nutné věnovat pozornost, zda se jedná o bleskojistku pro Fast Ethernet nebo Gigabit Ethernet, zda je průchozí pro napájení nebo není.

Jednotku uvedenou do provozu je potřeba správně nasměrovat. Prvotní směřování provedeme "od oka", známe-li záměrné body v daném prostředí. Použít lze také kompasu k určení směru. Je-li vše v pořádku, jednotky by se měly spojit. Ladicí mechanismus by měl být nastavený na středu ve všech rovinách, aby bylo možné provést jemné doladění. Druhá část ladicího mechanismu, zajišťující spojení s kovovou konstrukcí stožáru se přitáhne napevno a

zajistí kontramaticí. V této fázi by měl programátor nastavit fixní vysílací výkon obou stanicím a vypnout veškeré mechanismy kompenzující nízkou úroveň přijímaného signálu. K samotnému ladění využíváme akustické signalizace, měření napětí na RSSI nebo sledování úrovně signálu na PC. Pro práci ve výškách je vhodné měřit výstupní napětí RSSI přes BNC konektor nebo přes hrotové otvory. Princip ladění je v nalezení hlavního a postranních laloků. Postraní laloky mají mnohem nižší napětí než hlavní lalok, slouží k zabránění záměny hlavního laloku s vedlejším. Jemné ladění zůstává na pomalém pootáčení šroubů dle typu mechanismu. Při ladění nikdy netlačíme na paraboloid, který by se mohl pokrivit! Vždy se jakákoliv změna provádí přes ladící šrouby k tomu určeným! Pokud vycentrujeme anténu horizontálně ve směru, začneme hledat hlavní lalok i ve vertikálním směru. Nutno mít na paměti, že pokud ladíme v jednom směru, musí být ten druhý směr dotažený. Až po nalezení nejlepší úrovně dotáhneme laděný směr a povolíme druhý směr, ve kterém chceme ladit. Po nalezení nejlepší úrovně na jedné straně dotáhneme oba směry a přejdeme k ladění druhé strany tím též způsobem. Vždy ladí pouze jedna strana, druhá vyčkává! Jemné ladění se provádí 2-3 krát na každé straně. Dosáhneme-li požadované úrovně signálu, kterou si můžeme vypočítat podle předcházejících vzorců nebo na některé rádiové kalkulače určené pro tyto výpočty, můžeme dotáhnout veškeré šrouby a skončit s laděním.

Antény větší než 60 cm většinou vyžadují zavětrování. Úhel zavětrovací tyče vzhledem k držáku antény by měl být 60 - 120 stupňů. Při zavětrování se dbá velké opatrnosti, aby nedošlo k žádnému vychýlení.

Po dokončení ladění programátor nastaví požadované parametry pro spoj, provede spektrální analýzu a zátěžové testy. Je-li vše v pořádku, může se pokračovat v dokončení prací na stanovišti, v opačném případě se hledá zdroj chyby a provedou se úkony k odstranění závady.

3 Popis způsobu měření signálové úrovně a chybovosti spoje

3.1 CACTI a Raspberry Pi

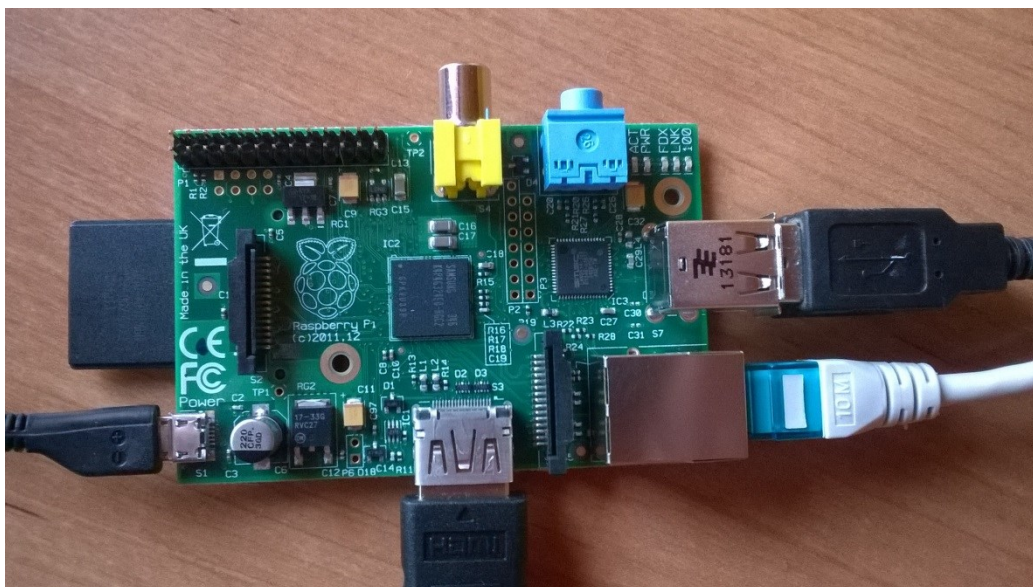
Každého provozovatele mikrovlnného spoje bude určitě zajímat, jak se konkrétní spoj chová z dlouhodobého hlediska a jakým podmínkám je potřeba spoj přizpůsobit. I když máme vypočtené optimální nastavení, může být praxe úplně jiná než teorie. S tímto ohledem je zapotřebí získat data ze spoje a následně je vyhodnotit k optimalizaci.

Na výběr máme z několika možností:

- Sledovat spoj přes jeho rozhraní, nejčastěji přes web nebo příslušný software.
- Zakoupit profesionální měřicí techniku.
- Využít SNMP protokolu.

Asi málo kdo bude mít možnost sedět nepřetržitě u PC a sledovat data z rozhraní rádiového spoje. Uvažovat o zakoupení profesionální měřicí techniky v řádu sta tisíců, si nejspíš málo kdo může dovolit. Využijme tedy protokolu SNMP, který nám bude odesílat ty stejné data, jenž lze číst v rozhraní rádiové jednotky (je-li to umožněno).

Asi nejznámějším a nejpoužívanějším programem pro tento účel je "CACTI". Program spadá pod GNU licenci a lze jej instalovat pod Linux i Windows. Z čistě ekonomického hlediska a poměrně jednoduché potřeby sledovat jen pár rádiových jednotek, nám pro naši potřebu bohatě postačí "Raspberry Pi" verze 2.



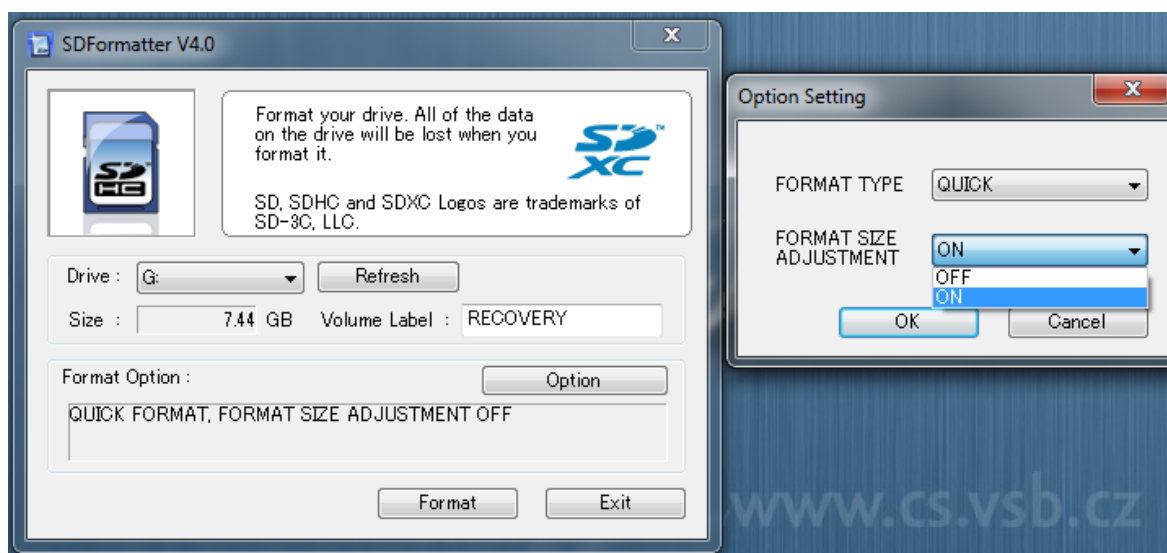
Obrázek 3.1: *Raspberry Pi* [20]

3.2 Potřebné komponenty

- "Raspberry Pi" verze 2 (700MHz CPU s 512MB RAM)
- Napáječ 5V 1.0A s USB-micro konektorem (nebývá součástí balení Raspberry Pi)
- SDHC-card (minimální požadavek 4GB s class 4, doporučeno 32GB s class 10)
- Přímý HDMI kabel nebo kabel HDMI - DVI (VGA)
- Kabel RJ45
- Klávesnice a myš s USB konektorem

3.3 Instalace Raspberry Pi

Ze stránek Raspberrypi. [online]. Dostupné z: <http://www.raspberrypi.org/downloads> si stáhneme balíček "NOOBS (offline and network install) o přibližné velikosti 1,3GB. Softwarem "SD Formatter 4.0 for SD/SDHC/SDXC" si připravíme SDHC kartu pro extrahování staženého balíčku NOOBS. Celý postup můžete shlédnout i na www.youtube.com.



Obrázek 3.2: Příprava SDHC karty [21]

Obsah staženého balíčku NOOBS extrahujeme pomocí WinZip na připravenou SDHC kartu.

Po zapojení připravené SDHC karty do přístrojové desky Raspberry Pi, vybereme instalaci balíčku "Raspbian (A Debian wheezy port, optimized for the Raspberry Pi)". Instalátor vše nastaví, v průběhu nás vyzve jen k zadání několika potřebných údajů. Před dokončením instalace máme možnost si vybrat z textové, nebo GUI podoby spouštění Raspberry Pi. Doporučuji ponechat textovou podobu s ohledem na šetření výpočetního výkonu. Do programu CACTI přistupujeme přes webový prohlížeč zadáním <http://<IP>/cacti/>. Veškerou instalaci provádíme z příkazového řádku.

3.4 Instalace CACTI

Před samotnou instalací je potřeba si nastavit správně „root“ uživatele. Defaultní user "pi" není rootem! Jednoduše lze použít příkaz "sudo passwd root" a heslo si nastavit. Pokud bychom tak neučinili, nebylo by možné instalaci CACTI spustit.

Instalování CACTI provedeme pomocí následujících, po sobě jdoucích příkazech:

#úprava nastavení

sudo raspi-config

#Expand File system to use entire SD card

#Memory Split to 16

#Update/Upgrade

sudo apt-get update

sudo apt-get upgrade -y

#instalace Cacti

sudo apt-get install -y cacti

#Nastavit heslo pro mysql,

#Which kind of web-server should be used by cacti?

Apache2

Pokud vše proběhne v pořádku, je potřeba si nastavit ještě pevnou IP adresu na eth0:

#vytvoření zálohy

sudo cp /etc/network/interfaces /etc/network/interfaces.backup

#editace interface

sudo nano /etc/network/interfaces

#pozměnit následující parametry

iface eth0 inet dhcp

#na (použít platnou IP adresu, masku a bránu)

iface eth0 inet static

address 192.168.1.2

netmask 255.255.255.0

network 192.168.1.0

broadcast 192.168.1.255

gateway 192.168.1.1

pozměnit ještě „iface default inet dhcp“ na „iface default inet static“

#uložit nastavení

#stisknou Ctrl+X.

#stisknou Y

"File Name to Write: /etc/network/interfaces", stisknout Enter.

#restartovat Raspberry Pi

Reboot

Dokončení instalace CACTI provedeme otevřením prohlížeče a zadáním.

<http://192.168.1.2/cacti>

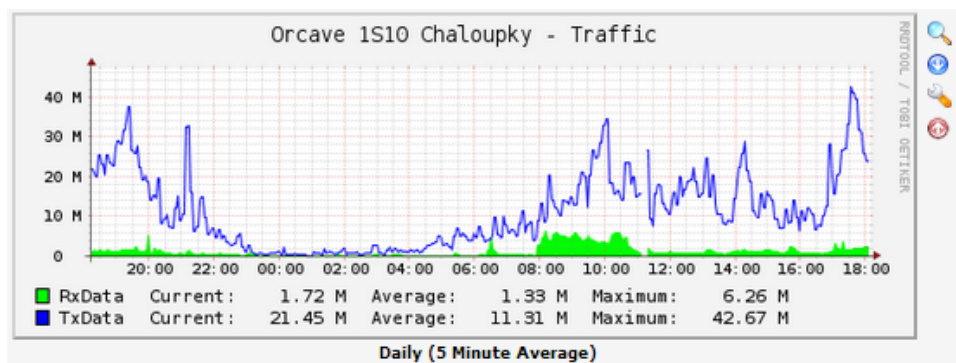
3.5 Práce v CACTI

Práce s programem CACTI je velmi jednoduchá a není potřeba složitě již nic nastavovat. Stačí mít naše Raspberry Pi připojené do sítě a zapnuté. Přihlašovat na něj se budeme z libovolného PC v síti, přes jeho adresu. V našem případě <http://192.168.1.2/cacti/>

Výrobci mají většinou již vytvořené "templates", které si stačí stáhnout a importovat do našeho CACTI. V "templates" jsou již přednastavené OID, přes které budeme vyčítat data a vykreslovat do grafu. Pokud by nám něco scházelo, velice jednoduchým způsobem si můžeme "templates" upravit přímo v CACTI.

Přidání zařízení provádíme v levé záložce přes "Devices" - "add". Stačí zadat IP adresu rádiové jednotky, přidat jméno, "SNMP version" nastavit na "Version 2" a zadat platnou "SNMP community". Tu si definujeme v rádiové jednotce, když povolujeme SNMP protokol. Po přidání zařízení musíme ještě nastavit grafy, které chceme vykreslovat pro dané zařízení. To provedeme přes „Create Graphs for this Host“ a vybereme požadované grafy (příloha G.).

Nemáme-li žádné obtíže s přidáním zařízení a nastavením grafu, začnou se nám během krátké doby vykreslovat grafy s krokem 5 minut. Výsledné grafy jsou uvedeny v příloze I.



Obrázek 3.3: Provoz z jednotky Orcave 1S10 s krokem 5 minut [22]

4 Ukázka měření vybraného spoje

Rádiová jednotka 1S10™ 10GHz microwave link (sn: LA3403) je instalována na území České republiky v obci Chlebičov. Jednotka je používána pro přístup místních občanů k síti Internet. Instalace jednotky proběhla přibližně 07/2012. Od té doby jednotka funguje bez jediného zásahu do systému nebo výměny komponentů.

Jednotka pracuje v pásmu 10GHz v rozmezí 10,308 až 10,588 GHz s šířkou kanálu 28/14MHz. Disponuje 2xGB Ethernet porty a 2xE1 porty pro management, modulacemi QPSK, PSK a QAM. Po upgrade může pracovat až na 256QAM s celkovou kapacitou 200Mbps (196Mbps) Full Duplex při prahové citlivosti -67dBm. Aktuálně jednotka běží na 128QAM s celkovou kapacitou 175Mbps. Citlivost pro BER 10^{-6} je požadována -70dBm (reálná hodnota se pohybuje kolem -55dBm). Vysílací výkon 3dBm z obou stran na 60cm anténě se získá 32.8 dB a úhlem vyzařování v horizontální poloze 3.1° a ve vertikální poloze 3.1° z obou stran. Výškový profil 282 m (n.h.m. proti výškovému profilu protistrany 273 m n.h.m.). Délka spoje 5.002 km (kompletní specifikaci v Příloze I).

Tato jednotka poskytuje data přes SNMP protokol pro potřebu programu CACTI. Program CACTI tyto data zpracovává s nejmenším intervalem 5minut. Výsledné grafy neposkytují přesnou informaci o spoji, lze z nich vyčíst chování linky a vyvodit patřičné závěry o spoji při dlouhodobém sbírání dat (výsledné grafy jsou v příloze).

Vzorky budou sbírány v období 31.3.2014 až 12.4.2014. Spoj nemá pokročilé řídicí mechanismy pro celkové řízení a jeho výsledky tak budou minimálně zkreslené. Modulace je nastavená na 128QAM. Vysílací výkon se podle očekávání bude měnit pouze v desetinách milisekund. Latence pro 128QAM se mají podle výrobce dostat na 1.2ms. SNR očekáváme konstantní, pokud nám někdo z okolních provozovatelů nevypustí svůj provoz v těsné blízkosti našeho kanálu.

V průběhu sbírání dat došlo ke krátkému výpadku napětí. Na grafech se zobrazuje tato událost jako vynechané místo.



Obrázek 4.1: *Jednotka Orcave 1S10 [23]*

4.1 Nastavení rádiové jednotky

Praktická ukázka spoje, instalovaného v obci Chlebičov mířícím směrem na Opavu.

The screenshot displays the ORCAVE web interface. At the top, it shows 'Box: Chlebicov' and 'License: Time Limited (31/5/2014) / 128QAM / E1'. On the left is a navigation menu with categories: Configuration (RF Link, Modem, Ports, LAN, License, Time, Information, Users), Monitor (Radio Link with sub-items: Overview, RF Status, Modem Statistics, Eth Statistics, E1 Statistics, Spectrum Scan; Switch with sub-items: Traffic Overview, Port Status, Port Statistics, MAC Address Table; System, System Log), Diagnostics (Ping), and Maintenance (Reset Device, Factory Defaults, Software Upload). The main content area is titled 'System Status' and contains three tables: 'Versions' (Serial Number LA3403, HW Version 1.2, System Version 1.20120320, Kernel Version 2.6.33), 'System Time' (System Date Sat Apr 12 17:25:22 2014, System Uptime 275d 01:51:42), and 'Environment' (Temperature 42.5 °C, Supply 5V 4.9 V, Supply 12V 12.1 V, Supply -5V -4.3 V, POE mode 802.3at or external). Below these is a 'Network Interfaces' table with columns: Name, Vlan, Encapsulation, MAC Address, IP Address, and IP Mask. It lists one interface 'lan' with Vlan 'native' and Encapsulation 'Ethernet'.

Versions	
Serial Number	LA3403
HW Version	1.2
System Version	1.20120320
Kernel Version	2.6.33

System Time	
System Date	Sat Apr 12 17:25:22 2014
System Uptime	275d 01:51:42

Environment	
Temperature	42.5 °C
Supply 5V	4.9 V
Supply 12V	12.1 V
Supply -5V	-4.3 V
POE mode	802.3at or external

Network Interfaces					
Name	Vlan	Encapsulation	MAC Address	IP Address	IP Mask
lan	native	Ethernet			

Obrázek 4.2: Základní údaje o jednotce [24]

Na obrázku 4.2 jsou zobrazeny systémové informace o jednotce Orcave 1S10 s použitou anténou průměru 60cm. Proti stanice má označení HA3380. Jednotka používá poslední dostupný firmware, který implementoval nezávislé VLAN přepínání. Tato jednotka funguje v nepřetržitém provozu již více než 275 dní. Síťový zdroj dodává 56V 600mA s celkovým maximálním výkonem 33,6W. Přívodní kabel je typu SFTP CAT.7. K napájení je použito POE v módu 802.3at typ-2 které dovolí přenést po dvou párech 44-57V, 600mA a 30W. Jednotka disponuje 2x 1000BASE-T porty. Udávaná spotřeba jednotky se pohybuje kolem 16W. Jednotka má zakoupenou licenci na 175Mbps při 128QAM. SW licence má platnost 24 měsíců s aktivací pouze jedné jednotky. Je tedy možné vytvořit asymetrický provoz.

ORCAVE

Box: Chlebicov
 License: Time Limited (31/5/2014) / 128QAM / E1

- ▼ **Configuration**
 - RF Link
 - Modem
 - Ports
 - LAN
 - License
 - Time
 - Information
 - Users
- ▼ **Monitor**
 - ▼ **Radio Link**
 - Overview
 - RF Status
 - Modem Statistics
 - Eth Statistics
 - E1 Statistics
 - Spectrum Scan
 - ▼ **Switch**
 - Traffic Overview
 - Port Status
 - Port Statistics
 - MAC Address Table
 - System
 - System Log
- ▼ **Diagnostics**
 - Ping
- ▼ **Maintenance**
 - Reset Device
 - Factory Defaults
 - Software Upload

Radio Link Status Overview

	Local	Remote
Alarms	0	0
Rx Frequency (MHz)	8 <-> 10518	1 <-> 10322
Tx Frequency (MHz)	1 <-> 10322	8 <-> 10518
Tx Power (dBm)	3.0	3.0
Bandwidth (MHz)	28 (ACAP)	28 (ACAP)
Tx Modulation	128QAM	128QAM
Rx Level (dBm)	-55.2	-55.4
SNR (dB)	31.2	29.5
Final BER	0.0e+0	0.0e+0
Raw BER	0.0e+0	2.4e-6

Obrázek 4.3: Základní informace o rádiovém přenosu [25]

Z obrázku 4.3 lze vyčíst informace o nastavení rádiovém kanálu. Lokální jednotka naslouchá na frekvenci 10518 horního pásma a vysílá na frekvenci 10322 dolního pásma. Změnu kanálu lze provést v Configuration – RF Link.

Vysílací výkon je zde nastaven na 3.0dBm na obou stranách. Pro tuto jednotku je to maximální dovolená hodnota podle ČTU.

Zabraná šířka pásma je 28MHz s normou ACAP. Při této normě neočekáváme přítomnost žádného přenosu na vedlejším, ani na opačně polarizovaném kanálu. Pokud by se ještě počítalo s příjmem na vedlejším kanálu, máme zde normu ACCP. Při využití normy CCDP využíváme příjmu na vedlejším kanálu i s opačnou polarizací.

Modulace využívá 128 QAM, která při šířce 28MHz na kanál nám dává teoretický 175Mbps, které můžeme spojem protáhnout. Reálná propustnost je o 15 – 20 Mbps nižší. Není použité ACM k řízení vysílané úrovně.

Úroveň Rx level by měla být pro tento spoj kolem 55,5dBm. Jsme v limitu.

ORCAVE

Box: Chlebicov
License: Time Limited (31/5/2014) / 128QAM / E1

Radio Modem Status

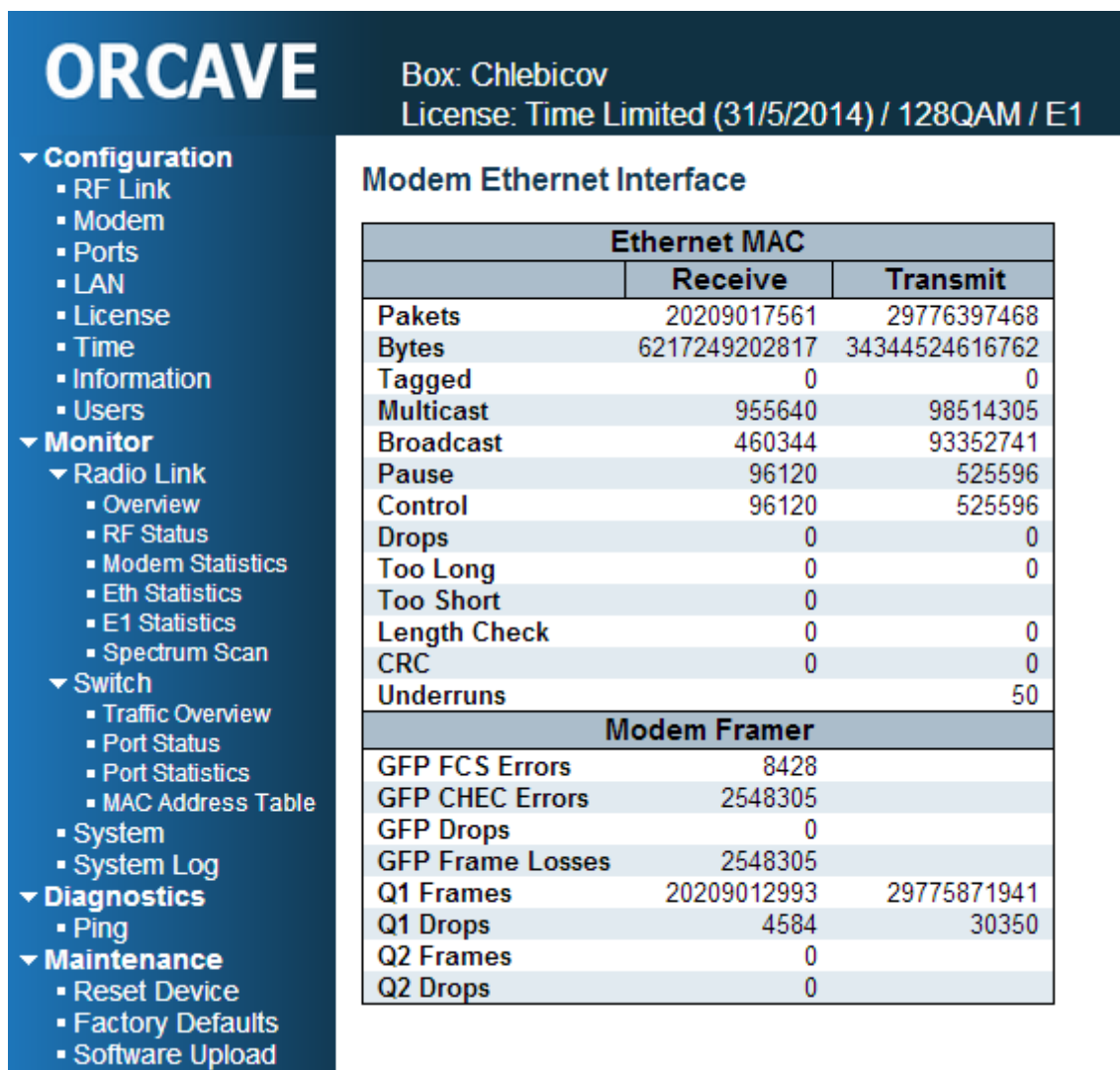
Modem Status	
Alarms	0
ACM enabled	No
E1 enabled	No
Fallback Timer	Inactive
Bandwidth (MHz)	28 (ACAP)
Rx Level (dBm)	-55.2
SNR (dB)	31.3
Tx Modulation	128QAM
Rx Modulation	128QAM
Tx Symbol Rate (MHz)	26.5
Rx Symbol Rate (MHz)	26.5
Final BER	0.0e+0
Raw BER	0.0e+0
Rx Blocks	758197103905
Rx Errors	9863062
Carrier Offset (Hz)	-4294
LoL Events	3582
LoL Time (s)	6433.128

- ▼ Configuration
 - RF Link
 - Modem
 - Ports
 - LAN
 - License
 - Time
 - Information
 - Users
- ▼ Monitor
 - ▼ Radio Link
 - Overview
 - RF Status
 - Modem Statistics
 - Eth Statistics
 - E1 Statistics
 - Spectrum Scan
 - ▼ Switch
 - Traffic Overview
 - Port Status
 - Port Statistics
 - MAC Address Table
 - System
 - System Log
- ▼ Diagnostics
 - Ping
- ▼ Maintenance
 - Reset Device
 - Factory Defaults
 - Software Upload

Obrázek 4.4: Podrobnější informace o rádiovém přenosu [26]

Obrázek 4.4 zobrazuje údaje přímo z modemu rádia. Šířka kanálu je nastavena na 28MHz, reálně je pro 128QAM zabráno 26.5MHz v obou pásmech.

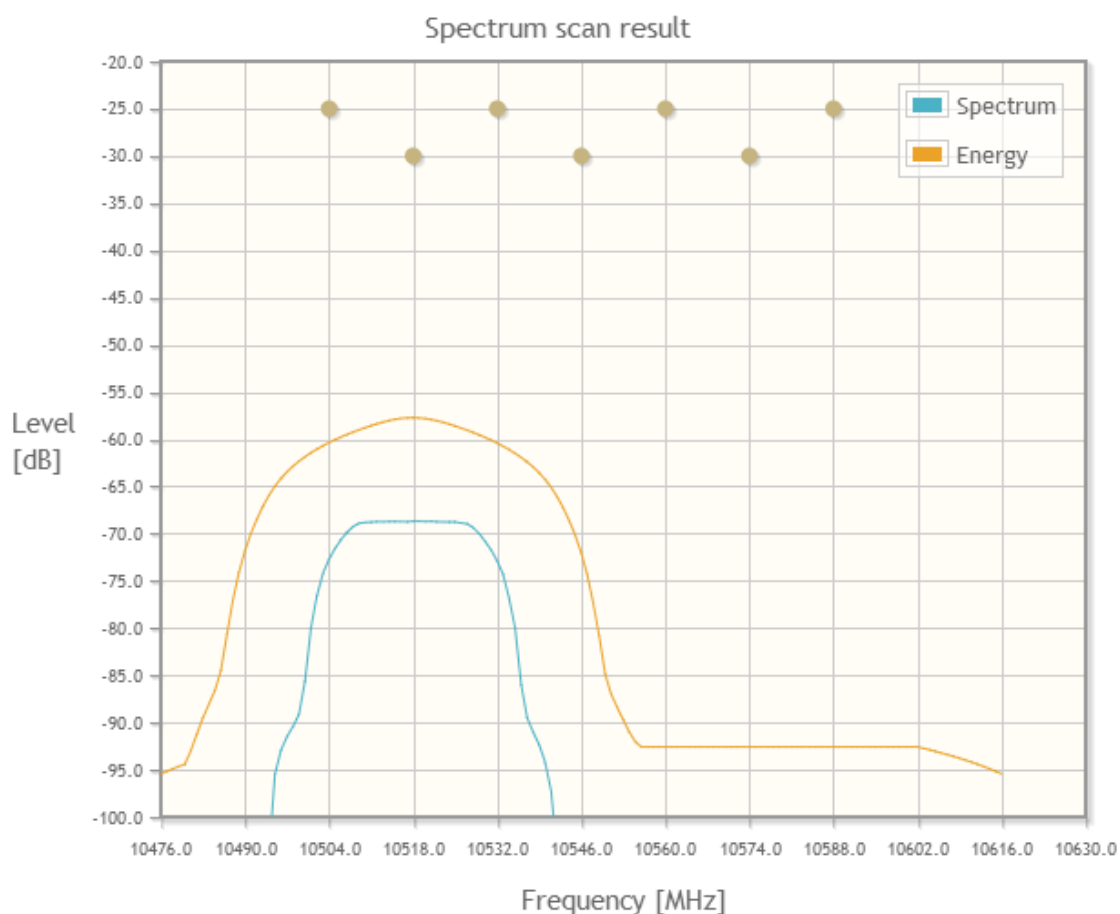
Střední nosná je posunuta o 0,004294MHz pro daný kanál. Vychází z celkové šířky použitého kanálu, s ohledem na optimální střední kmitočet, který je použit.



Obrázek 4.5: Informace o přenesených datech [27]

Obrázek 4.5 popisuje data procházející Ethernetem a modemem rádiové jednotky. Jednotka ukládá informace o celkově přenesených datech, současně zaznamenává i chybně přenesené data. Jak je patrné, na straně od Ethernetu (v našem případě ze sítě vybudované v obci Chlebicov) obdržela 20209012993 paketu, z toho 2548305 bylo detekovaných jako chybných. Tento čítač ukazuje na použití opravného mechanismu FEC. Pouze 4584 musela zahodit, jelikož se ji nepodařilo pakety opravit.

Na druhé straně přijala celkem 29775871941 paketu ze sítě, které už mají daleko více chybných paketů. Velikost paketu není vždy stejná. Tuto skutečnost potvrzuje celkový počet přenesených bytů.



Energy is computed for 28 MHz wide channel.

Obrázek 4.6: *Spektrální scan z jednotky Orcave 1S10 [28]*

Na obrázku. 4.6 je zobrazen spektrální scan jednotky Orcave 1S10. Dva sousední markery ve vertikální poloze ohraničují 14 MHz úsek.

Jednotka má nastavené Rx na 10518 MHz. Na scanu se tento kmitočet projevuje jako střed našeho kanálu. Odstup od středního markeru je na obě strany ve spektru i energetické hladině téměř konstantní. Tato událost ukazuje na správně vycentrování obou antén proti sobě. V případě, kdy by se spektrální scan odchyloval od středového markeru nebo byl diagram rozbitý, můžeme hovořit o rušení z jiné stanice nebo nevhodném provedení instalace.

Tento scan nám napomáhá diagnostikovat, zda jsme zaměřily hlavní laloky proti sobě. Délka výpočtu spektrálního scanu je cca 30 sekund, po tuto dobu lokální stanice nic nevysílá, pouze naslouchá proti stanici.

Závěr

Datová komunikace, vybudovaná v mikrovlnném pásmu, má řadu výhod i nevýhod. Mezi výhody lze zařadit rychlou výstavbu, velkou mobilnost, rychlou změnu trasy, snadnou úpravu parametrů, široké použitelnosti, nízkou pořizovací cenu atd. Za nevýhody lze považovat velké rušení, omezenou šířku pásma, omezený dosah na skok. Hlavním problémem této komunikace je především prostředí, které se velmi rychle může změnit.

První kapitola je zaměřená na obecné seznámení s principy využívaných v mikrovlnné technologii, společně s uvedením základních komponentů, díky kterým lze realizovat komunikaci. Jednotlivé prvky jsou popisovány spíše obecně. Každý výrobce má pro své komponenty trochu odlišný přístup oproti konkurenci. Fyzikální zákony se dají těžko oblahnout, přesto se domnívám, že výrobci mají stále široký prostor pro vývoj a zdokonalování svých jednotek.

Druhou kapitolu lze rozdělit na tři bloky. První blok je věnován především přenosovému médiu a některým problémům, které zde vznikají. Za velmi významné je potřeba stanovení vhodné rezervy na únik. Ta je nejvíce ovlivněná vícecestným šířením nebo deštěm. Pro útlum deštěm postačí upravit vysílací parametry některým řídicím protokolem. Zde je ale potřeba počítat s nutnou režíí na pozadí, která se může lehce projevit na latencích spoje. Z praktického příkladu lze odvodit jednoduchý závěr, o větším útlumu pro horizontální polarizaci než pro vertikální. Při instalaci spoje využíváme polarizace horizontální, vertikální nebo jejich kombinací, pokud nám to rádiová jednotka umožní. Z hlediska útlumu na dlouhé skoky by pro nás byla výhodnější vertikální polarizace. Horizontální by byla spíše vhodnější na kratší skoky. Ne vždy je možné se této teorie držet s ohledem na míru rušení z okolních kanálů. Vícecestné šíření je problémem většinou dlouhodobého působení. Často pro nás znamená daleko větší investici do vybudování spoje. Další blok druhé kapitoly je věnován k objasnění některých termínů, které se v radiokomunikační technice nejčastěji používají. Součástí je i uvedení praktických příkladů, jak se vypočítávají základní parametry linky. Výpočet je v poměrně základním tvaru. Proměnných, které nám vstupují do rovnic, je víc. Práce uvádí jen ty, které nám nejvíce ovlivňují celý spoj. Výpočet můžeme provést podle zvoleného příkladu, alternativně můžeme použít některou z webových kalkulaček nebo příslušnou aplikaci v telefonu určenou pro tyto výpočty.

Poslední částí druhé kapitoly je osobní zkušenost s instalací těchto spojů pro internetového poskytovatele a mobilního operátora. Tato část je zaměřená na reálnou instalaci, než na plánovací a výpočetní úkony. Tato část práce nespadá pod odborný pohled, ve které jsou většinou práce psány. Přesto teorie je popsána v mnoha doporučeních, článcích a knižních publikacích. Osobní zkušenosti a postupy při provádění úkonů a prací spojených s tímto tématem, se velmi obtížně hledají. Netvrdím, že vše provádíme technologicky správně, nechávám na čtenáři, aby se nechal inspirovat a mohl zhodnotit celý postup dle svých vědomostí a představ.

Třetí kapitola je věnována měření. K tomuto účelu jsem zvolil program CACTI, který mi zdá jako ideální kompromis k monitorování spoje. Získat připravenou šablonu pro měření spoje není nijak obtížné, její úprava je taky poměrně velmi snadná. Zvolené Raspberry Pi vyniká především dobrým poměrem cena – výkon – spotřeba. Kapacitu 8GB SDHC karty se podařilo vyčerpat za 54 dnů při sběru dat z 6 jednotek Orcave 1S10. S tímto ohledem bych doporučil nastavit úložiště na externí disk nebo na mnohonásobně větší kartu. Zde je nutné počítat i s větším napájecím zdrojem, pokud externí disk bude napájený přes USB. Práce s Raspberry Pi je velmi snadná,

Poslední kapitola je zaměřená na sběr dat z jednotky Orcave 1S10 s reálným provozem klientů připojených k internetové síti. Jednotka pracuje v pásmu 10GHz s výkonem 3dBm, na 128QAM, se ziskem antény 32,8dB na anténu a délkou trasy 5km. Teoretická propustnost spoje je kolem 175 Mbps, reálná linka je 164Mbps. Tento spoj běží 24 hodin denně již po dobu 2 let bez jediné nutnosti cokoliv upravovat. Jediný zásah byl v podobě nahrání nového firmware do obou rádiových jednotek.

Z osobního pohledu vnímám zadané téma k vypracování jako velmi přínosné pro osobní rozvoj při studování Telekomunikační technologie na VSB-FEI Ostrava. Díky práci jsem měl možnost si objasnit některé předpoklady pro návrh a samotnou výstavbu spoje. Práce mě donutila seznámit se s doporučením ITU-R, ze kterých jsem se snažil především vycházet. Za úkol jsem nepovažoval vytvořit pouhý překlad těchto doporučení, v práci jsem se snažil zaznamenat především osobní zkušenosti a získané informace z reálného návrhu a provozu. Všem čtenářům doporučuji absolvovat kurz výrobců rádiových jednotek, které kromě výše provedeného popisu teorie většinou dovolují si i vyzkoušet práci v jejich dohledovém systému. Rádiová komunikace podle mého názoru nám dovolí ještě značně zdokonalit jednotky a přenos dat, otázkou ale bude, jak se my naučíme šetrně využívat rádiového spektra, které můžeme považovat za národní bohatství.

Použitá literatura

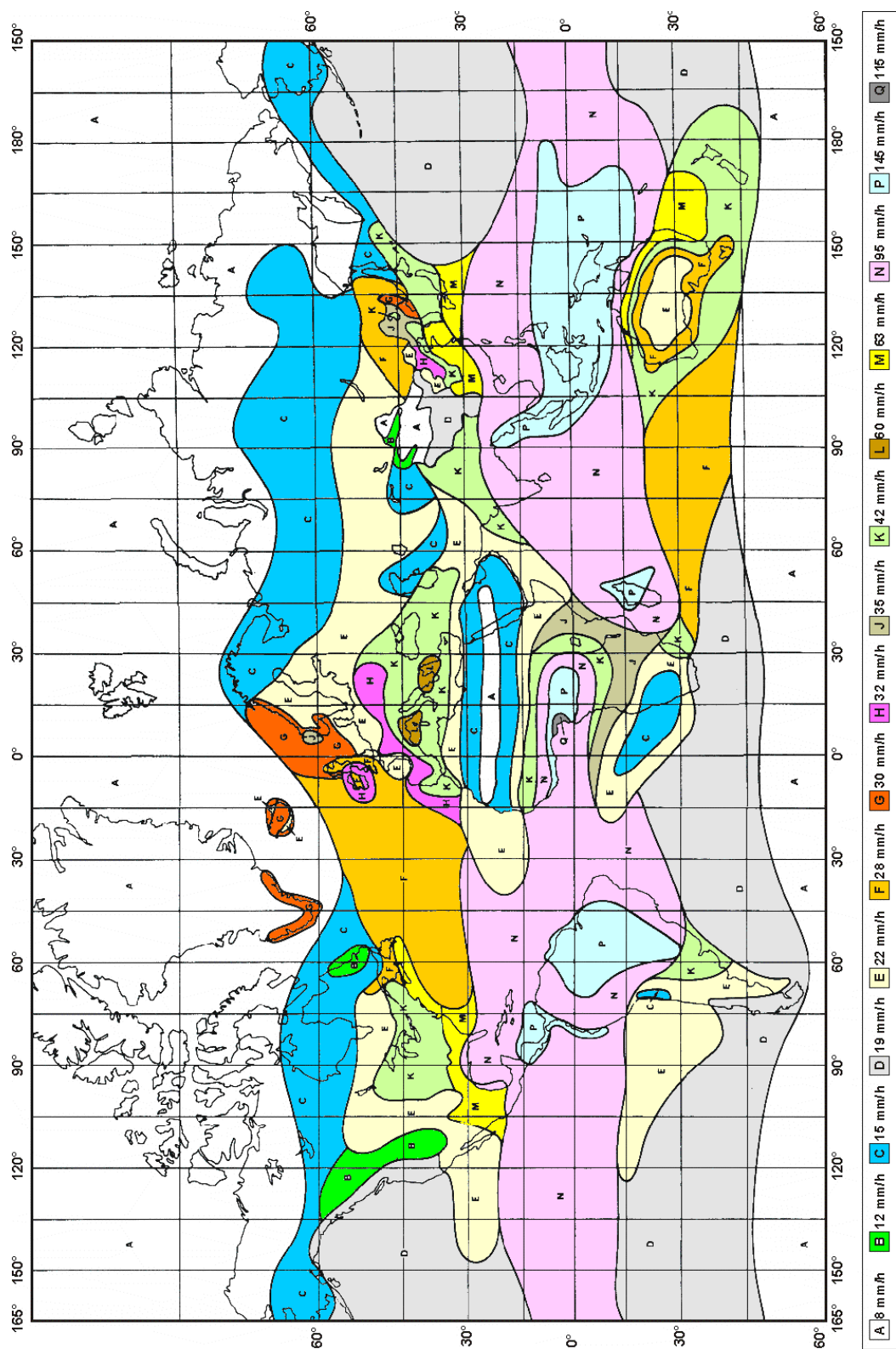
- [1] *ITU-R Sector Activities on Climate Change* (by Valery Timofeev, Director, ITU Radiocommunication Bureau): Radiocommunication Sector activities in Mitigating the Local Effects of Climate Change. [online]. 2007. vyd. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.itu.int/ITU-R/information/promotion/e-flash/03-2008/article4.html>
- [2] POLÁČEK, Miroslav. *Elektromagnetické spektrum*. In: [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://radek.jandora.sweb.cz/f25.htm>
- [3] *Komunikace pomocí optických vláken I*. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://hroch.spseol.cz/~nozka/psk/038-opticka-vlakna-1/tisk.html>
- [4] MARŠÁLEK, Aleš. *Multifrekvenční ozařovač malé parabolické antény s kruhovou polarizací*. [online]. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/esl/files/Projects/StudentProjects/Marsalek/Diplomka_Patch.pdf
- [5] Parabolická anténa JRMA-380-10 UPB. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://wifi.aspa.cz/parabolicka-antena-jrma-380-10-upb-z105548/>
- [6] MICROWAVE ABSORBING FOAM: *RFRET – Reticulated Foam Absorbers*. LAIRD TECHNOLOGIES®. [online]. 2004 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.thonauer.cz/files/thonauer-42270a79edd32dfc1fe1a2a9a251b1ab/microwave-absorbing-materials.pdf>
- [7] ITU-R. *Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems* [online]. 2012 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-14-201202-S!!PDF-E.pdf
- [8] ITU-R. *Attenuation by atmospheric gases: P.676-10* [online]. Geneva, 2013 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-10-201309-I!!PDF-E.pdf
- [9] *Montážní schéma antény Arkivátor provedení 2012*. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.racom.eu/cz/products/m/ray17/install.html>
- [10] *Split-Mount Microwave Equipment –ODU*. DEANOTES. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.daenotes.com/electronics/microwave-radar/digital-microwave-communication-equipment>
- [11] ŠEBESTA, Jiří, Jaroslav LÁČÍK, Martin SIMANDL a Ladislav DUŠEK. *Radioreléový spoj s křížovou polarizací a systémem*

- XPIC* [online]. roč. 2013, č. 4 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: www.elektrorevue.cz/cz/download/radioreleovy-spoj-s-krizovou-polarizaci-a-systemem-xpic--cross-polarization-radio-relay-link-with-xpic-system-/
- [12] *Radio Wave*. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.pandia.ru/287410/>
- [13] *Principy digitální mikrovlnné komunikace: Pasivní retranslace pomocí dvou parabolických antén*. ALCOMA A.S. [online]. Vinšova 11, Praha 10, 29.3.2010, 16.11.2012 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: [http://www.alcoma.cz/upload/download/Manu%C3%A1l%20\(CZ\)%20Principy%20digit%C3%A1ln%C3%AD%20mikrovln%C3%A9%20komunikace%202.1.pdf](http://www.alcoma.cz/upload/download/Manu%C3%A1l%20(CZ)%20Principy%20digit%C3%A1ln%C3%AD%20mikrovln%C3%A9%20komunikace%202.1.pdf)
- [14] BUMBÁLEK, Z. *Modulační techniky v moderních bezdrátových sítích*. [online]. České vysoké učení technické v Praze, 08.02.2010 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/rservice.php?akce=tisk&cislocclanku=2010020004>
- [15] VEJSADA, M. *Kvadrurní amplitudová modulace QAM*. [online]. České vysoké učení technické v Praze, FEL, 29.07.2004 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2004072903>
- [16] SEDLÁČEK, Radek. *Direct Digital Synthesis (DDS)*. [online]. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, 2013 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A4M38A_VS/2014/prednasky/SPP_materialy_DDS_extended.pdf
- [17] *Fresnelovy zóny*. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/sireni_vln/teze/otazka_09.pdf
- [18] ITU-R. *CHARACTERISTICS OF PRECIPITATION FOR PROPAGATION MODELLING: PN.837-1* [online]. 1994 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.837-1-199408-S!!PDF-E.pdf
- [19] SEZNAM. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/#!q=wse&t=s&x=17.867948&y=49.944328&z=11>
- [20] ITU-R. *Attenuation by atmospheric gases: P.838-2* [online]. 2003 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-2-200304-S!!PDF-E.pdf

- [21] WRC-97. *FINAL ACTS of the World Radiocommunication Conference (WRC-97)* [online]. Geneva, 1997 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/oth/02/01/S020100002F4001PDFE.pdf
- [22] *Digital T1 and E1 Interfaces* [online]. Hermon Laboratories TI Ltd., 2009 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://www.hermonlabs.com/Products/innerData/pdf/T1%20E1%20Interfaces%20Overview.pdf>
- [23] CHMELA, P. a RAIDA, Z. *NÁVRH A OPTIMALIZACE TRYCHTÝŘE* [online]. FEKT, VUT v Brně, Ústav Radioelektroniky Purkyňová 118, 602 00 Brno [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/matlab05/prispevky/chmela/chmela.pdf
- [24] *Principy digitální mikrovlnné komunikace* [online]. Praha 10: ALCOMA a.s., 2012 [cit. 2014-04-13].
- [25] BUMBÁLEK, Z. *Modulační techniky v moderních bezdrátových sítích* [online]. České vysoké učení technické v Praze, FEL, 08.02.2010 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010020004>
- [26] *Antény* [online]. ALCOMA a.s. [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://www.alcoma.cz/cz/katalog/anteny/>
- [27] *Mikrovlnný radioreléový spoj: SDM10-DE 25 Mbit/s* [online]. 2003 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: http://www.svm.cz/data/SDM10DE_2003-06-09.pdf
- [28] *Stručná teorie mikrovlnných spojů* [online]. 2003 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://www.bezdratove-telekomunikace.cz/katalog-pojitek/o-radiovych-spojich/>
- [29] *Kanálové tabulky* [online]. Praha 10: ALCOMA a.s. [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://www.alcoma.cz/cz/clanek/0/?acid=5>
- [30] PETERKA, Jiří. *PCM a spoje T* [online]. 2011 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/a92/a203c110.php3>
- [31] MARŠÁLEK, Aleš. *Multifrekvenční ozařovač malé parabolické antény s kruhovou polarizací* [online]. [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/esl/files/Projects/StudentProjects/Marsalek/Diplomka_Patch.pdf. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. Miroslav Kasal, CSc.

Seznam příloh

Příloha A:	Mapa dešťových zón podle ITU-R PN.837-1 . Chyba! Záložka není definována.
Příloha B:	Koeficienty pro $k_v, k_H, \alpha_v, \alpha_H$ Chyba! Záložka není definována.
Příloha C:	Frekvenčně závislé koeficienty pro útlum deštěmII Chyba! Záložka není definována.-VI
Příloha D:	Intenzita srážek podle ITU-R 837 VI
Příloha E:	Útlum prostředí díky atmosférických plynů s krokem 1GHz VII
Příloha F:	Celkové skladby závislosti útlumu díky atmosférickým plynům..... VIII
Příloha G:	Přidání sledované jednotky do CACTI IX
Příloha H:	Zkrácená kanálová tabulka X
Příloha I:	Výsledné Grafy 4.1 až 4.18 programu CACTI z jednotky Orcave 1S10 ..XI-XVI
Příloha J:	Představení jednotky Orcave 1S10.....XVII-XIX



Příloha A. Mapa dešťových zón podle Rec. ITU-R PN.837-1

J	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-5.33980	-0.10008	1.13098	-0.18961	0.71147
2	-0.35351	1.26970	0.45400		
3	-0.23789	0.86036	0.15354		
4	-0.94158	0.64552	0.16817		

Příloha B. *Koeficienty pro k_H [5]*

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-3.80595	0.56934	0.81061	-0.16398	0.63297
2	-3.44965	-0.22911	0.51059		
3	-0.39902	0.73042	0.11899		
4	0.50167	1.07319	0.27195		

Příloha B. *Koeficienty pro k_v [5]*

j	a_j	b_j	c_j	m_α	c_α
1	-0.14318	1.82442	-0.55187	0.67849	-1.95537
2	0.29591	0.77564	0.19822		
3	0.32177	0.63773	0.13164		
4	-5.37610	-0.96230	1.47828		
5	16.1721	-3.29980	3.43990		

Příloha B. *Koeficienty pro α_H [5]*

j	a_j	b_j	c_j	m_α	c_α
1	-0.07771	2.33840	-0.76284	-0.053739	0.83433
2	0.56727	0.95545	0.54039		
3	-0.20238	1.14520	0.26809		
4	-48.2991	0.791669	0.116226		
5	48.5833	0.791459	0.116479		

Příloha B. *Koeficienty pro α_v [5]*

Frequency (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
1	0.0000259	0.9691	0.0000308	0.8592
1.5	0.0000443	1.0185	0.0000574	0.8957
2	0.0000847	1.0664	0.0000998	0.9490
2.5	0.0001321	1.1209	0.0001464	1.0085
3	0.0001390	1.2322	0.0001942	1.0688
3.5	0.0001155	1.4189	0.0002346	1.1387
4	0.0001071	1.6009	0.0002461	1.2476
4.5	0.0001340	1.6948	0.0002347	1.3987
5	0.0002162	1.6969	0.0002428	1.5317
5.5	0.0003909	1.6499	0.0003115	1.5882
6	0.0007056	1.5900	0.0004878	1.5728
7	0.001915	1.4810	0.001425	1.4745
8	0.004115	1.3905	0.003450	1.3797
9	0.007535	1.3155	0.006691	1.2895
10	0.01217	1.2571	0.01129	1.2156
11	0.01772	1.2140	0.01731	1.1617
12	0.02386	1.1825	0.02455	1.1216
13	0.03041	1.1586	0.03266	1.0901
14	0.03738	1.1396	0.04126	1.0646
15	0.04481	1.1233	0.05008	1.0440
16	0.05282	1.1086	0.05899	1.0273
17	0.06146	1.0949	0.06797	1.0137
18	0.07078	1.0818	0.07708	1.0025
19	0.08084	1.0691	0.08642	0.9930
20	0.09164	1.0568	0.09611	0.9847
21	0.1032	1.0447	0.1063	0.9771
22	0.1155	1.0329	0.1170	0.9700
23	0.1286	1.0214	0.1284	0.9630
24	0.1425	1.0101	0.1404	0.9561
25	0.1571	0.9991	0.1533	0.9491
26	0.1724	0.9884	0.1669	0.9421
27	0.1884	0.9780	0.1813	0.9349
28	0.2051	0.9679	0.1964	0.9277
29	0.2224	0.9580	0.2124	0.9203

Frequency (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
30	0.2403	0.9485	0.2291	0.9129
31	0.2588	0.9392	0.2465	0.9055
32	0.2778	0.9302	0.2646	0.8981
33	<i>0.2972</i>	<i>0.9214</i>	<i>0.2833</i>	<i>0.8907</i>
34	0.3171	0.9129	0.3026	0.8834
35	0.3374	0.9047	0.3224	0.8761
36	0.3580	0.8967	0.3427	0.8690
37	0.3789	0.8890	0.3633	0.8621
38	0.4001	0.8816	0.3844	0.8552
39	0.4215	0.8743	0.4058	0.8486
40	0.4431	0.8673	0.4274	0.8421
41	0.4647	0.8605	0.4492	0.8357
42	0.4865	0.8539	0.4712	0.8296
43	0.5084	0.8476	0.4932	0.8236
44	0.5302	0.8414	0.5153	0.8179
45	0.5521	0.8355	0.5375	0.8123
46	0.5738	0.8297	0.5596	0.8069
47	0.5956	0.8241	0.5817	0.8017
48	0.6172	0.8187	0.6037	0.7967
49	0.6386	0.8134	0.6255	0.7918
50	0.6600	0.8084	0.6472	0.7871
51	0.6811	0.8034	0.6687	0.7826
52	0.7020	0.7987	0.6901	0.7783
53	0.7228	0.7941	0.7112	0.7741
54	0.7433	0.7896	0.7321	0.7700
55	0.7635	0.7853	0.7527	0.7661
56	0.7835	0.7811	0.7730	0.7623
57	0.8032	0.7771	0.7931	0.7587
58	0.8226	0.7731	0.8129	0.7552
59	0.8418	0.7693	0.8324	0.7518
60	0.8606	0.7656	0.8515	0.7486
61	0.8791	0.7621	0.8704	0.7454
62	0.8974	0.7586	0.8889	0.7424
63	0.9153	0.7552	0.9071	0.7395

Frequency (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
64	0.9328	0.7520	0.9250	0.7366
65	0.9501	0.7488	0.9425	0.7339
66	0.9670	0.7458	0.9598	0.7313
67	0.9836	0.7428	0.9767	0.7287
68	0.9999	0.7400	0.9932	0.7262
69	1.0159	0.7372	1.0094	0.7238
70	1.0315	0.7345	1.0253	0.7215
71	1.0468	0.7318	1.0409	0.7193
72	1.0618	0.7293	1.0561	0.7171
73	1.0764	0.7268	1.0711	0.7150
74	1.0908	0.7244	1.0857	0.7130
75	1.1048	0.7221	1.1000	0.7110
76	1.1185	0.7199	1.1139	0.7091
77	1.1320	0.7177	1.1276	0.7073
78	1.1451	0.7156	1.1410	0.7055
79	1.1579	0.7135	1.1541	0.7038
80	1.1704	0.7115	1.1668	0.7021
81	1.1827	0.7096	1.1793	0.7004
82	1.1946	0.7077	1.1915	0.6988
83	1.2063	0.7058	1.2034	0.6973
84	1.2177	0.7040	1.2151	0.6958
85	1.2289	0.7023	1.2265	0.6943
86	1.2398	0.7006	1.2376	0.6929
87	1.2504	0.6990	1.2484	0.6915
88	1.2607	0.6974	1.2590	0.6902
89	1.2708	0.6959	1.2694	0.6889
90	1.2807	0.6944	1.2795	0.6876
91	1.2903	0.6929	1.2893	0.6864
92	1.2997	0.6915	1.2989	0.6852
93	1.3089	0.6901	1.3083	0.6840
94	1.3179	0.6888	1.3175	0.6828
95	1.3266	0.6875	1.3265	0.6817
96	1.3351	0.6862	1.3352	0.6806
97	1.3434	0.6850	1.3437	0.6796

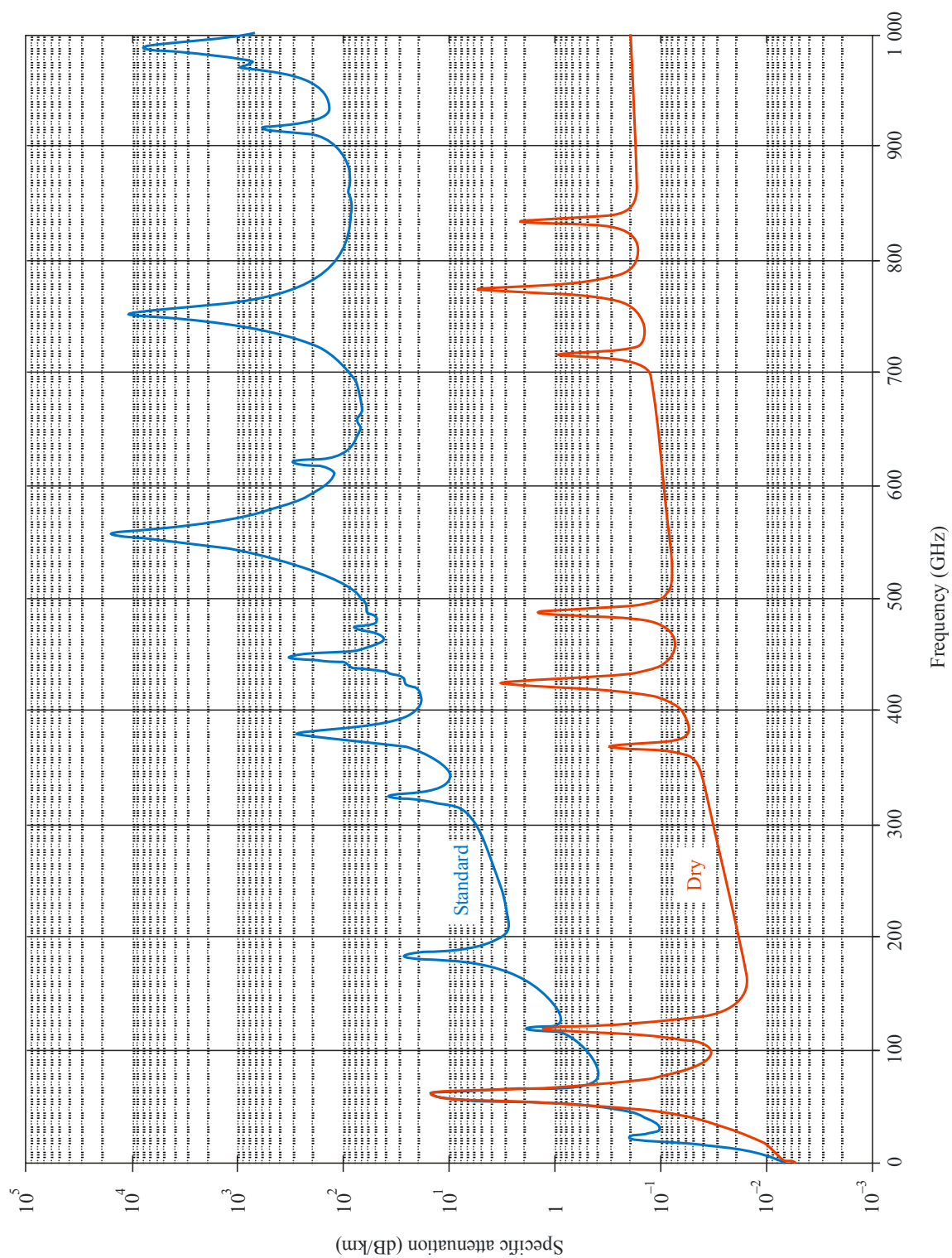
Frequency (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
98	1.3515	0.6838	1.3520	0.6785
99	1.3594	0.6826	1.3601	0.6775
100	1.3671	0.6815	1.3680	0.6765
120	1.4866	0.6640	1.4911	0.6609
150	1.5823	0.6494	1.5896	0.6466
200	1.6378	0.6382	1.6443	0.6343
300	1.6286	0.6296	1.6286	0.6262
400	1.5860	0.6262	1.5820	0.6256
500	1.5418	0.6253	1.5366	0.6272
600	1.5013	0.6262	1.4967	0.6293
700	1.4654	0.6284	1.4622	0.6315
800	1.4335	0.6315	1.4321	0.6334
900	1.4050	0.6353	1.4056	0.6351
1 000	1.3795	0.6396	1.3822	0.6365

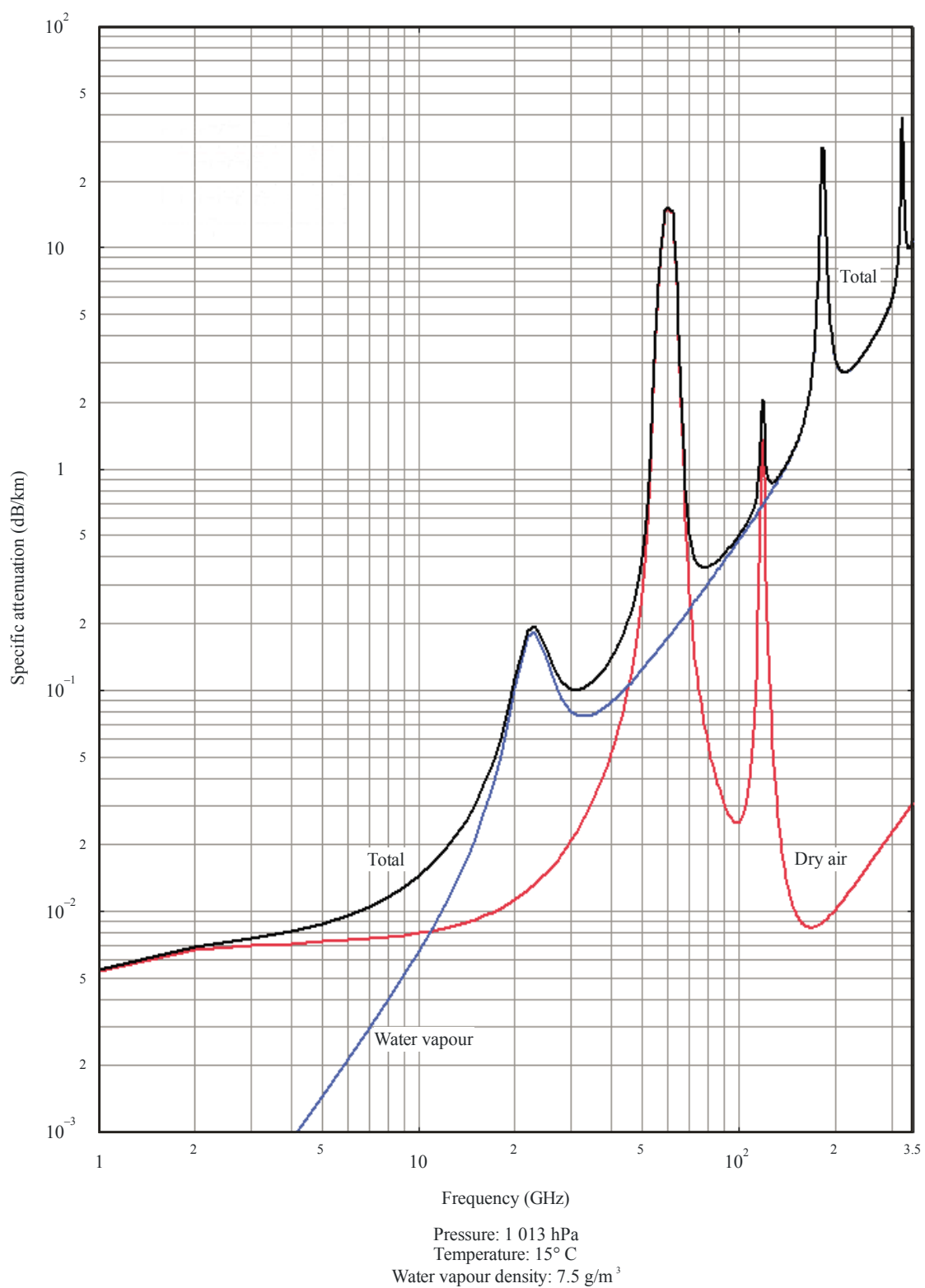
Příloha C. *Frekvenčně závislé koeficienty pro útlum deštěm [6]*

Percentage of time (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1.0	<0.1	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	15	2	4	5	12	14
0.3	0.8	2	2.8	4.5	2.4	4.5	7	4	13	42	7	11	15	34	49
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

Příloha D. *Intenzita srážek podle ITU-R 837 [7]*

Příloha E. *Útlum prostředí díky atmosférických plynů s krokem 1 GHz*





P.0676-05

Příloha F. Celkové skladby závislosti útlumu díky atmosférickým plynům.

console

graphs

Console -> Devices -> (Edit)

Create

Management

Graph Management

Data Sources

Devices

Collection Methods

Data Queries

Data Input Methods

Templates

Graph Templates

Data Templates

Import/Export

Import Templates

Export Templates

Configuration

Settings

Plugin Management

Utilities

System Utilities

User Management

Logout User

Devices [new]

General Host Options

Description

Give this host a meaningful description.

Hostname

Fully qualified hostname or IP address for this device.

Host Template

Choose the Host Template to use to define the default Graph Templates and Data Queries associated with this Host.

Number of Collection Threads

The number of concurrent threads to use for polling this device. This applies to the Spine poller only.

Disable Host

Check this box to disable all checks for this host.

Availability/Reachability Options

Downed Device Detection

The method Cacti will use to determine if a host is available for polling.
NOTE: It is recommended that, at a minimum, SNMP always be selected.

Ping Timeout Value

The timeout value to use for host ICMP and UDP ping. This host SNMP timeout value applies for SNMP pings.

Ping Retry Count

After an initial failure, the number of ping retries Cacti will attempt before failing.

SNMP Options

SNMP Version

Choose the SNMP version for this device.

SNMP Community

SNMP read community for this device.

SNMP Port

Enter the UDP port number to use for SNMP (default is 161).

SNMP Timeout

The maximum number of milliseconds Cacti will wait for an SNMP response (does not work with php-snmp support).

Maximum OID's Per Get Request

Specified the number of OID's that can be obtained in a single SNMP Get request.

Additional Options

Notes

Enter notes to this host.

Orcave1S10_Ostrava_Centrum

87.214.3.15

Orcave 1S10

1 Thread (default)

☐ Disable Host

SNMP Uptime

400

1


Version 2

orcave

161

500

10

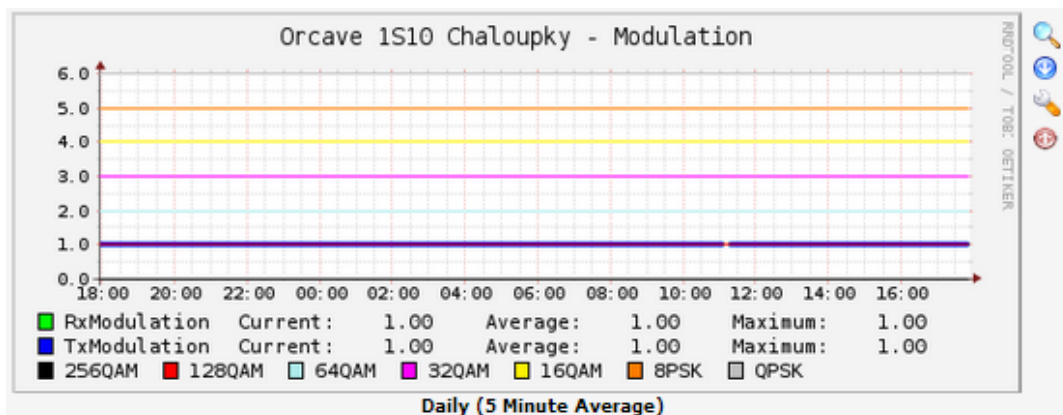


Příloha G. Přidání sledované jednotky do CACTI

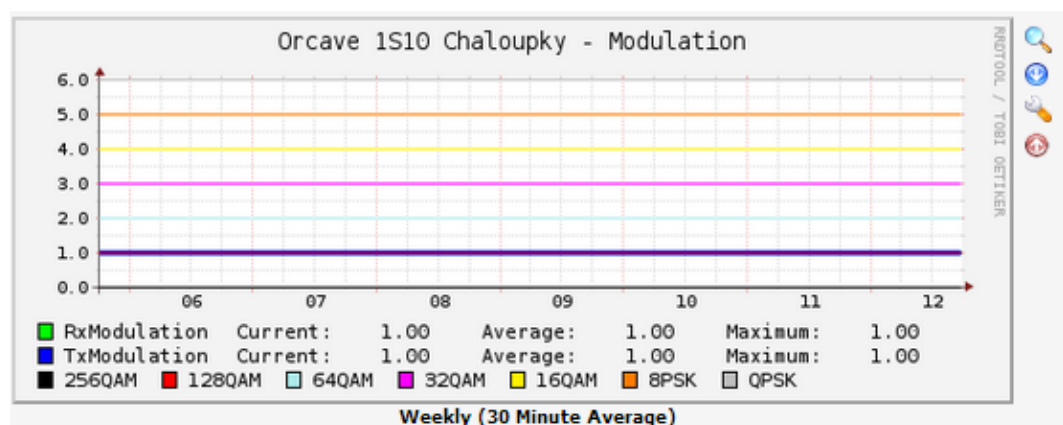
Referenční kmitočet [MHz]	Šířka kanálu [MHz]	Počet kanálu	Dolní pásmo [MHz]		Horní pásmo [MHz]		Duplexní odstup [MHz]	Předpis
			od	do				
4003,50	29	6	3825.50	3969.50	4037,50	4182.50	213,00	PV-P/7/11.2008-15
6175,00	29,65	8	5945,20	6152.75	6197.24	6404,79	252,04	PV-P/19/12.2005-47
6770,00	40	8	6460,00	6740,00	6800,00	7080,00	340,00	PV-P/19/12.2005-47
7275,00	14	8	7142,00	7240,00	7303,00	7401,00	161,00	PV-P/19/12.2005-47
7575,00	7	20	7428,00	7561,00	7589,00	7722,00	161,00	PV-P/19/12.2005-47
11200,00	80	11	10755,00	11155,00	11245,00	11645,00	490,00	PV-P/13/12.2012-16
11200,00	56	16	10737,00	11157,00	11227,00	11647,00	490,00	PV-P/13/12.2012-16
11200,00	40	12	10735,00	11175,00	11225,00	11665,00	490,00	PV-P/13/12.2012-16
11200,00	28	17	10723,00	11171,00	11213,00	11661,00	490,00	PV-P/13/12.2012-16
12996,00	8	28	12765,00	12961,00	13031,00	13227,00	266,00	PV-P/18/10.2011-15
12996,00	8	7	12922,50	12971,00	13188,50	13237,50	266,00	PV-P/18/10.2011-15
12996,00	8	3,5	12948,75	12973,50	13214,75	13239,25	266,00	PV-P/18/10.2011-15
14924,00	4	28	14515,00	14599,00	15243,00	15327,00	728,00	PV-P/8/10.2011-14
14924,00	8	14	15515,00	14613,00	15243,00	15341,00	728,00	PV-P/17/02.2010-3
14924,00	7	16	14504,50	14609,50	15232,50	15337,50	728,00	PV-P/17/02.2010-3
18700,00	110	5	17810,00	18250,00	18820,00	19260,00	1010,00	PV-P/17/02.2010-3
18700,00	55,00	10	17755,00	18250,00	18765,00	19260,00	1010,00	PV-P/17/02.2010-3
18700,00	27,50	30	17755,00	18525,00	18765,00	19535,00	1010,00	PV-P/17/02.2010-3
18700,00	13,75	15	18332,50	18525,00	19342,50	19535,00	1010,00	PV-P/17/02.2010-3
18700,00	7,5	10	18542,50	18610,00	19552,50	19620,00	1010,00	PV-P/17/02.2010-3
18700,00	5	10	18617,50	18662,50	19627,50	19672,50	1010,00	PV-P/17/02.2010-3
21196,00	28	20	22022,00	22554,00	23030,00	23562,00	1008,00	PV-P/16/11.2011-17
21196,00	14	41	22015,00	22575,00	23023,00	23583,00	1008,00	PV-P/16/11.2011-17
21196,00	7	83	22012,00	22586,00	23020,00	23594,00	1008,00	PV-P/16/11.2011-17
21196,00	3,5	168	22005,00	22589,00	23013,00	23597,00	1008,00	PV-P/16/11.2011-17
25501,00	56	16	24801,00	25417,00	25809,00	26425,00	1008,00	PV-P/2/03.2006-4
25501,00	28	16	24787,00	25431,00	25795,00	26439,00	1008,00	PV-P/2/03.2006-4
25501,00	14	32	24780,00	25438,00	25788,00	26446,00	1008,00	PV-P/2/03.2006-4
25501,00	7	96	24777,00	25442,00	25785,00	26450,00	1008,00	PV-P/2/03.2006-4
25501,00	3,5	192	24775,00	25443,00	25783,00	26451,00	1008,00	PV-P/2/03.2006-4
32599,00	56	3	32123,00	32235,00	32935,00	33047,00	812,00	PV-P/11/02.2011-1
32599,00	28	6	32277,00	32417,00	33089,00	33229,00	812,00	PV-P/11/02.2011-1
32599,00	14	9	32438,00	32564,00	33250,00	33376,00	812,00	PV-P/11/02.2011-1

Příloha H. Zkrácená kanálová tabulka [8]

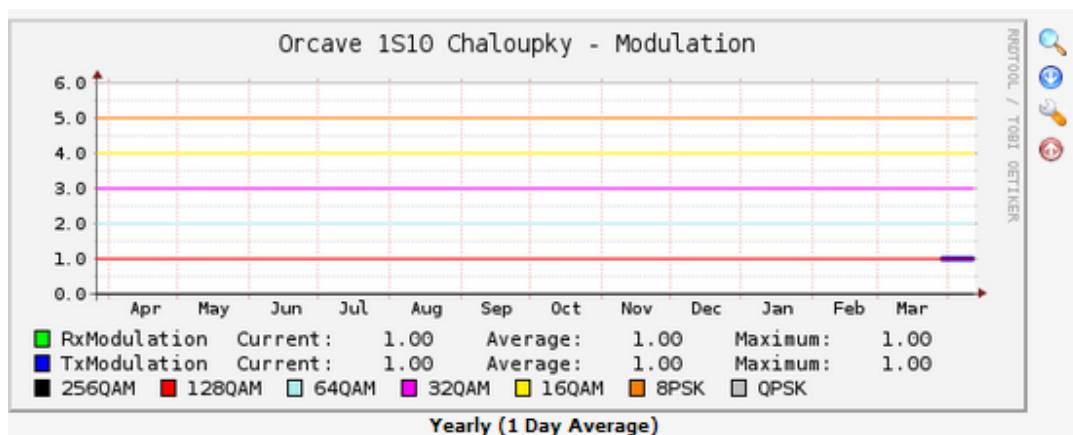
Příloha I. Výsledné Grafy 4.1 až 4.18 programu CACTI z jednotky Orcave 1S10



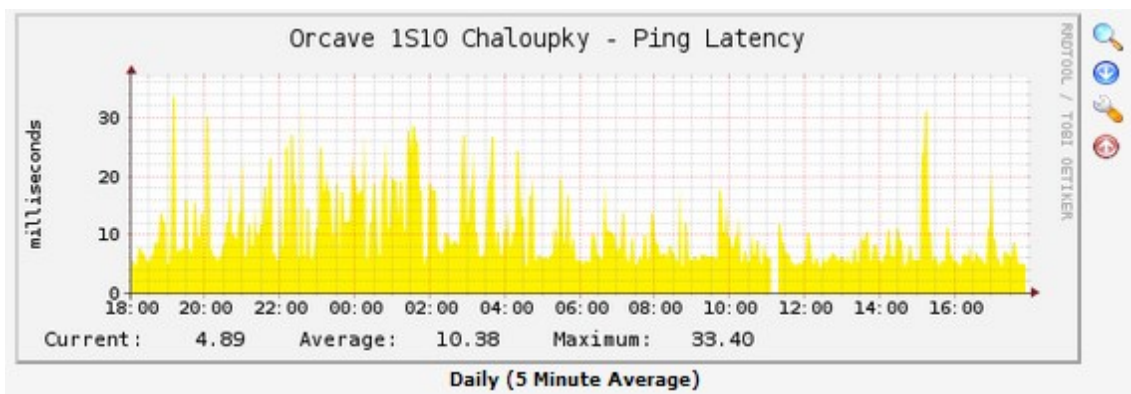
Graf 4.1: *Modulace s krokem 5 minut*



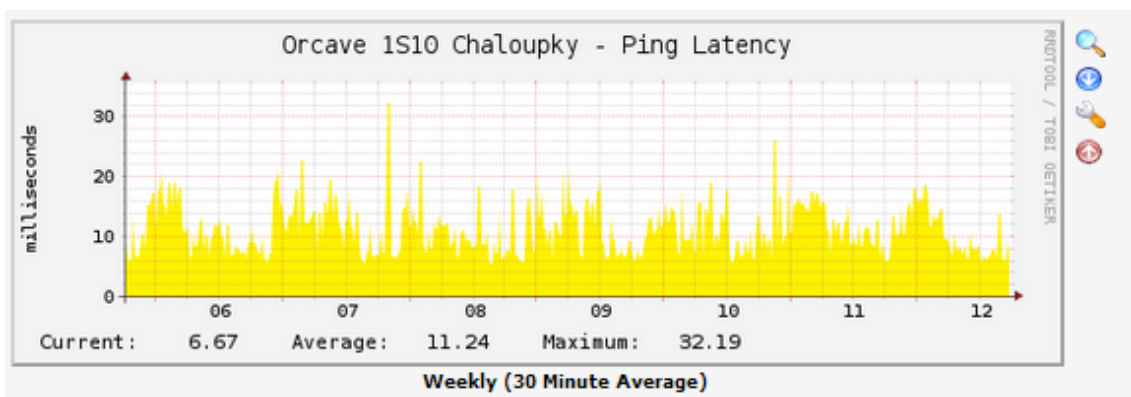
Graf 4.2: *Modulace s krokem 30 minut*



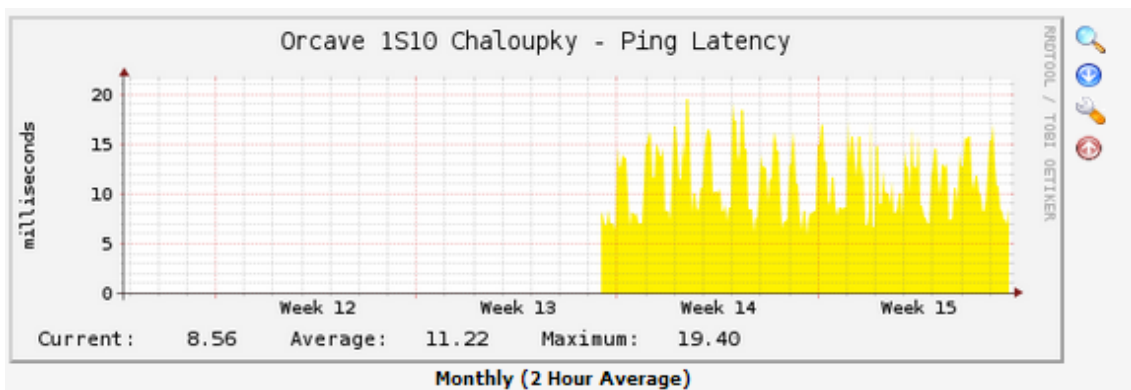
Graf 4.3: *Modulace s krokem 1 den*



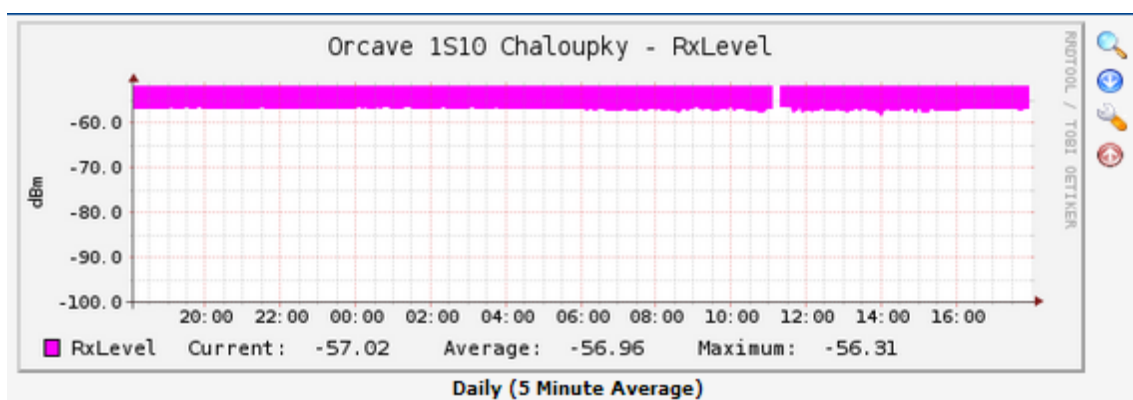
Graf 4.4: *Ping odezva s krokem 5 minut*



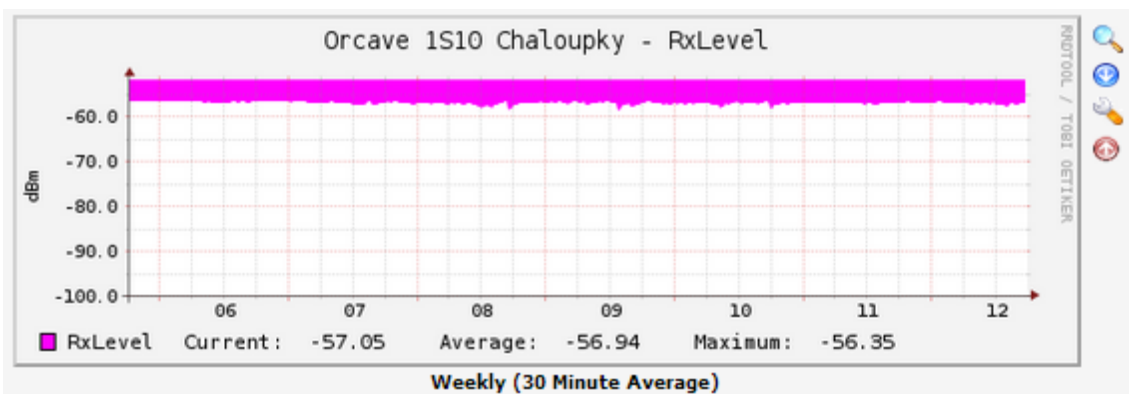
Graf 4.5: *Ping odezva s krokem 30 minut*



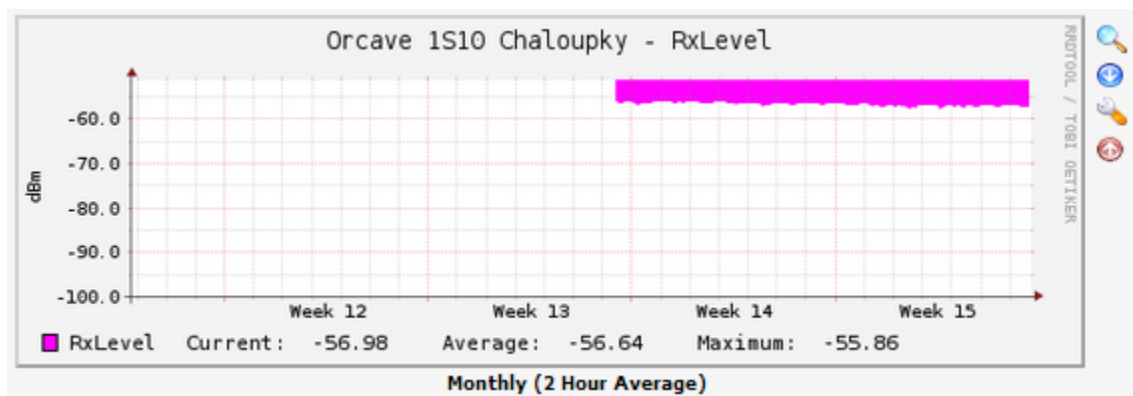
Graf 4.6: *Ping odezva s krokem 1 den*



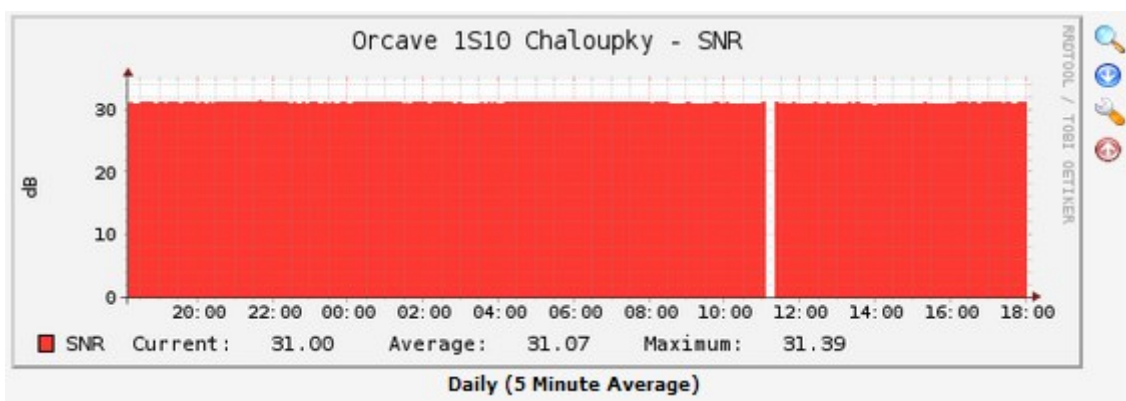
Graf 4.7: *Rx úroveň s krokem 5 minut*



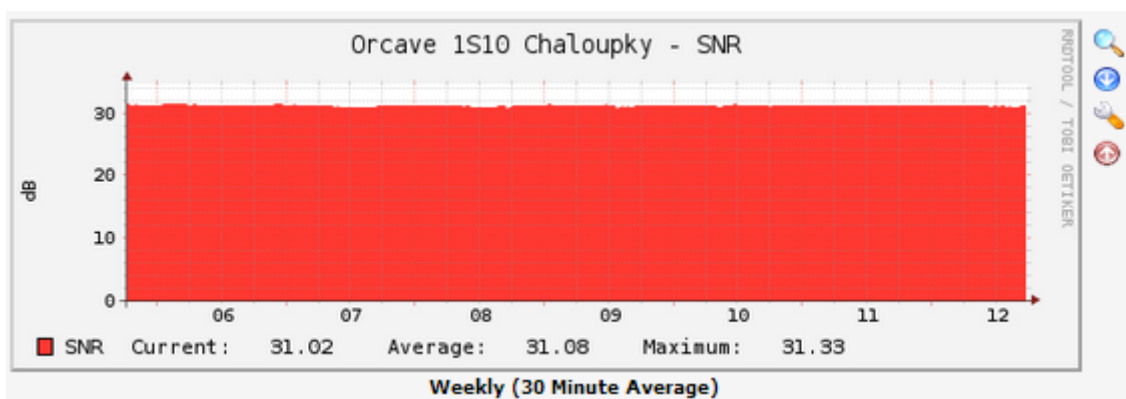
Graf 4.8: *Rx úroveň s krokem 30 minut*



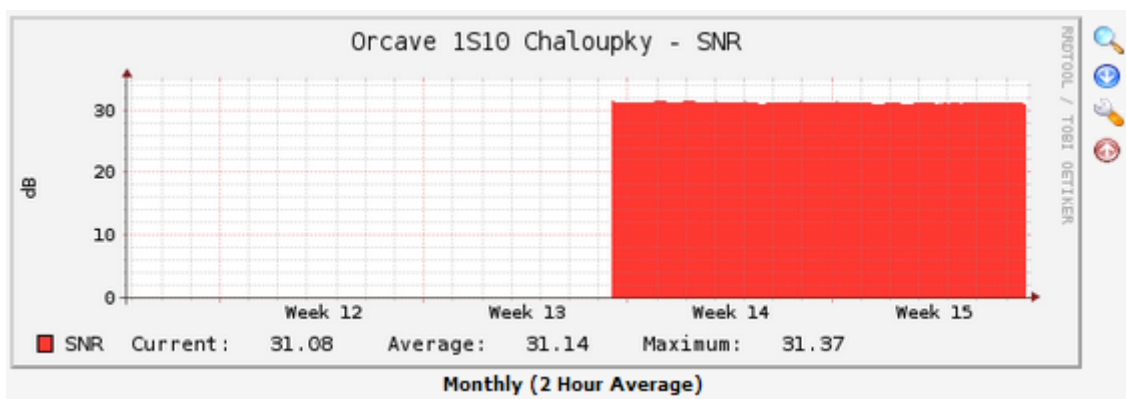
Graf 4.9: *Rx úroveň s krokem 1 den*



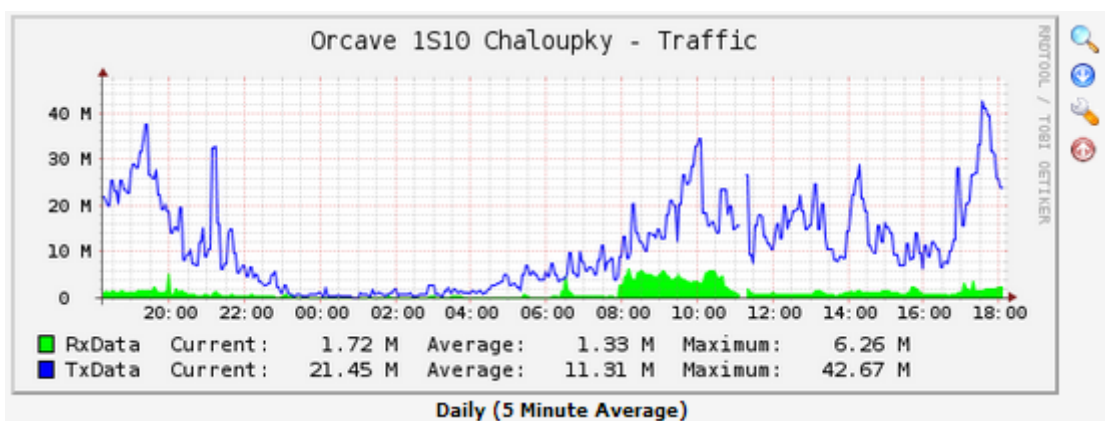
Graf 4.10: SNR s krokem 5 minut



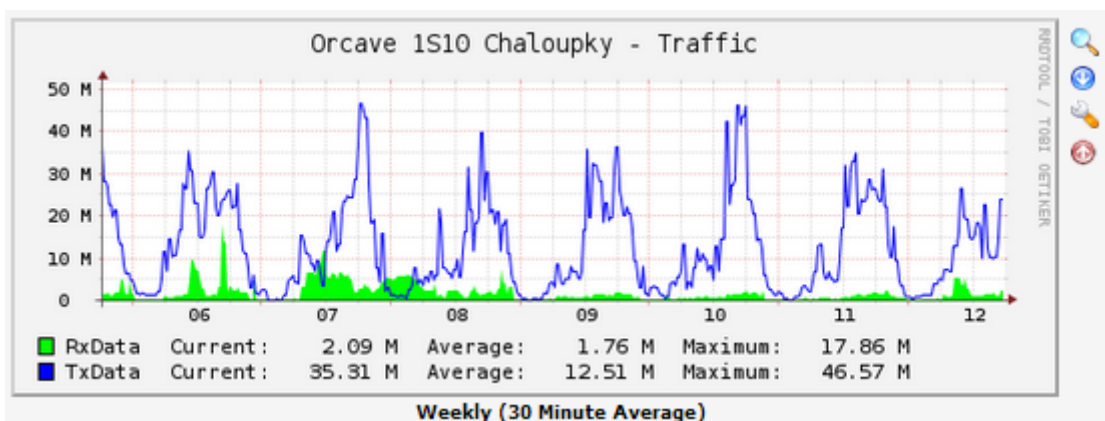
Graf 4.11: SNR s krokem 30 minut



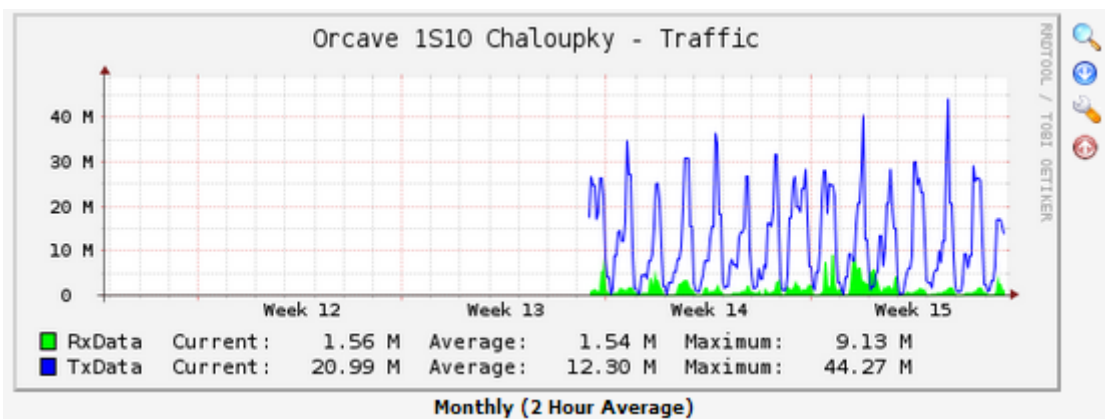
Graf 4.12: SNR s krokem 1 den



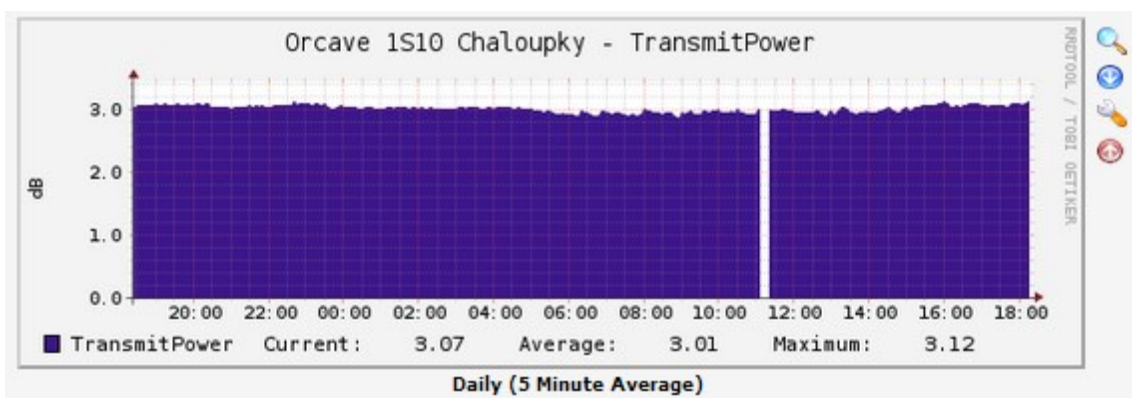
Graf 4.13: Provoz s krokem 5 minut



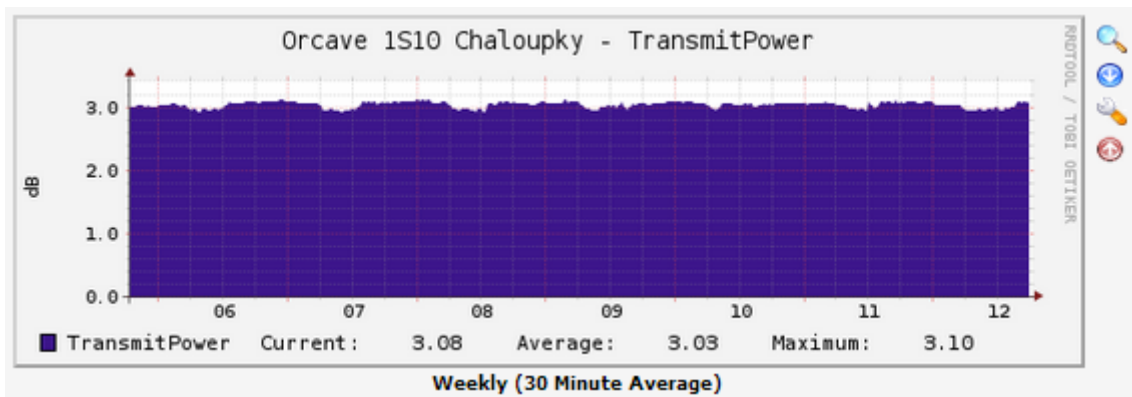
Graf 4.14: Provoz s krokem 30 minut



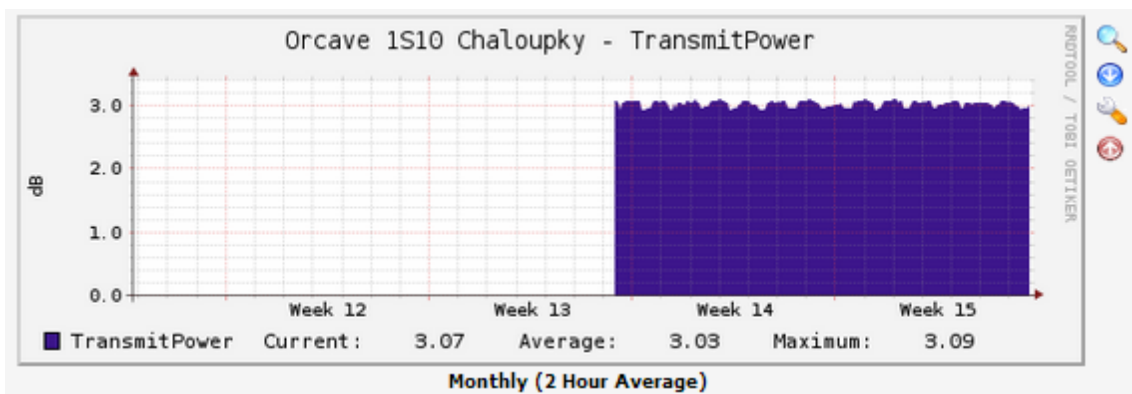
Graf 4.15: Provoz s krokem 1 den



Graf 4.16: *Vysílací výkon s krokem 5 minut*



Graf 4.17: *Vysílací výkon s krokem 30 minut*



Graf 4.18: *Vysílací výkon s krokem 1 den*

Hlavní vlastnosti:	<ul style="list-style-type: none"> - Kmitočtové pásmo: 10,3 - 10,6 GHz - Přenosová rychlost 175 Mbps, upgradovatelná na 200 Mbps - Přeladitelnost: dolní část spektra kanály 0-3a, horní část spektra kanály 7a-10(a) - Šířka kanálu: 14 a 28 MHz - Full-Duplex přenos - Modulace: QPSK, 8PSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM upgrade až na 256QAM - Adaptivní modulace - Rozhraní: 2x GB Ethernet port, 2x E1 - spoje na přímou viditelnost - Dosah: 2,93 km (rezerva na únik 20 dB)
Pracovní kmitočty, pásmo:	<p>Vysílací kmitočty: Dolní část spektra (středové kmitočty 10,308 -10,392 GHz), kanály 0-3a, horní část spektra (středové kmitočty 10,504 -10,574(10,588) GHz), kanály 7a-10(a) dle VO-R/14/12.2006-38 ČTÚ</p> <p>Rozsah přeladění: Libovolná kombinace kanálů z dolní a horní části spektra, možná je i kombinace kanálů 3a-7a</p> <p>Počet kanálů: 13/13 pro šířku kanálu 28/14 MHz (středové kmitočty s odstupem 7 MHz v rozsahu kanálů 0-3a a 7a-10(a))</p> <p>Přenosová rychlost (šířka kanálu 28 MHz):</p> <p>Modulační rychlost: 25 Mbps/QPSK (šířka kanálu 14 MHz), 50 Mbps/QPSK, 75 Mbps/8PSK, 100 Mbps/16QAM, 125 Mbps/32QAM, 150 Mbps/64QAM, 175 Mbps/128QAM, maximální 200 Mbps/256QAM</p> <p>Uživatelská rychlost: 24 Mbps/QPSK (šířka kanálu 14 MHz), 49 Mbps/QPSK, 74 Mbps/8PSK, 98 Mbps/16QAM, 123 Mbps/32QAM, 147 Mbps/64QAM, 172</p>

	<p>Mbps/128QAM, maximální 196 Mbps/256QAM</p> <p>Přenosová rychlost při 14 MHz kanálu je cca 50% oproti 28 MHz kanálu (při stejné modulaci)</p> <p>Kódování: LDPC, FEC</p>
Citlivost (BER10-6):	<p>-87 dBm/QPSK, -83 dBm/8PSK, -79 dBm/16QAM, -76 dBm/32QAM, -73 dBm/64QAM, -70 dBm/128QAM, -67 dBm/256QAM</p>
Latence (pro 64 byte Ethernet frame):	<p>0,2 ms/100Mbps a vyšších; 0,27 ms/75 Mbps; 0,35 ms/50 Mbps; 0,7 ms/25 Mbps</p>
Vysílací výkon:	<p>-10 dBm až +3 dBm (s krokem 0,5 dB), ATPC není podporováno</p>
Šířka kanálu:	<p>28 MHz (pro modulace QPSK až 256QAM), 14 MHz (pro modulace QPSK až 128QAM)</p>
Podporované standardy:	<p>Radiové parametry: ETSI EN 302 217-1, ETSI EN 302 217-2-2, ETSI EN 302 217-4-2</p> <p>EMC: ETSI EN 301 489-1 V1.8.1 (2008-04), ETSI EN 301 489-4</p> <p>Bezpečnost: EN 60 950-1:2007</p>
Anténa:	<p>Arkivator 60 cm</p> <p>Polarizace: Vertikální/Horizontalní dle montáže jednotky</p> <p>Zisk antény: 32,8 dB/10,18 GHz</p> <p>H úhel: 3,1°</p> <p>V úhel: 3,1°</p> <p>Jednotka se montuje přímo na anténu a jako 1 celek se pomocí držáku montují na stožár</p> <p>Vzdálenost jednotky od osy stožáru je cca 32 cm</p>
Porty:	<p>2x Gigabit Ethernet IEEE 802.3ac</p>

	1000BASE-T, konektor RJ-45 (kabel min. Cat5E), podpora napájení po Ethernetu (PoE) IEEE 802.3at do 100 m 2x E1 (G703), konektor RJ-45 1x BNC pro nastavení optimální síly signálu
Napájení:	Po Ethernetu: PoE 802.3at do 100 m Nebo 40 - 72 V DC z externího napájecího zdroje Spotřeba max. 16 W
Nastavení, Diagnostika:	Real time monitoring: RSS, SNR, BER Statistiky: Rádiová linka a Ethernet pro všechny typy paketů Instalace: indikace RSSI napětím na BNC (-85 až -30 dBm)
Management:	In Band, web management SNMP bude implementováno v některé z dalších verzí firmware, podpora minimální verze 2c a pouze příkazy GET (nikoli SET nebo NOTIFY) SNMP ver.2 vč. nastavitelných TRAPů nebude implementováno
Pracovní podmínky:	Teplota: -30 až +55°C
Rozměry:	210 × 270 × 114 mm jednotka
Hmotnost:	40 kg

Příloha I. *Představení jednotky Orcave IS10 [9]*